Péclet's

weil. General-Inspectors an der Universität, Professors der angewandten Physik an der Centralschule etc. zu Paris

vollständiges Handbuch

über die

Wärme und ihre Anwendung

in den

Künsten und Gewerben.

Für

Physiker, Berg-, Hütten-, Fabriken- und Bau-Ingenieure, Mechaniker, Fabrikanten, Landwirthe etc.

Nach der

dritten, gänzlich umgearbeiteten Auflage

deutsch bearbeitet

von

Dr. Carl Hartmann,

Berg- und Hütteningenieur.

Erster Band.

Mit den Figuren 1 bis 185 auf den lithographirten Tafeln I bis VIII.

Naumburg, Druck und Verlag von G. Pätz.

Leipzig, Wolfgang Gerhard.

1860.

Vorrede.

Das Manuscript zu dieser dritten Auflage des umstehend näher bezeichneten Werkes über die Wärme war vollständig vollendet und sollte von dem Verfasser in Druck gegeben werden, als ihn der Tod von seinen Arbeiten wegnahm. Sein ganzes Leben hindurch mit den physischen Wissenschaften beschäftigt, über die er sehr wichtige, Epoche machende Werke herausgegeben, widmete er sich vorzugsweise dem tiefern Studium der Erscheinungen der Wärme. Er war der Erste, der die theoretischen Grundsätze und die praktischen Regeln derselben in einem Systeme zusammenstellte, welches seitdem für die gewerblichen Anwendungen maaßgebend geworden, so daß er eine neue Wissenschaft, „die angewandte Physik", geschaffen hat.

Diese Wissenschaft lehrte er dreißig Jahre hindurch an der Centralschule mit dem größten Erfolge, und bereicherte sie fortwährend durch zahlreiche Versuche und Untersuchungen.

Die vorliegende dritte Auflage ist von der vorhergehenden vollständig verschieden. Die wiederholte Bearbeitung aller Theile, die wichtigen Zusätze, welche gemacht und die Gegenstände, welche in derselben zum ersten Male behandelt worden sind, stellen diese Auflage als ein ganz neues Werk dar.

Dasselbe besteht aus drei Bänden. Der erste Band enthält die zum Studium der verschiedenen Anwendungen und Benutzungen der Wärme erforderlichen Elemente; er handelt von den Brennmaterialien, von den Bewegungen der Gase, von den Essen,

Heerden und Oefen, der Ventilation und der Mittheilung der Wärme. Man findet in demselben die neuen Versuche von Peclet über das Ausströmen verdichteter Gase und über die Transmission und Emission der Wärme.

Im zweiten Bande sind die Apparate zum Verdampfen, Abdampfen und zum Trocknen, sowie die zur Erwärmung der Gase, der Flüssigkeiten und der festen Körper angewendeten Vorrichtungen untersucht.

Die Heizung und Ventilirung der öffentlichen und der Wohngebäude sind die Gegenstände, mit denen sich der dritte Band, im ganzen Umfange ihrer Wichtigkeit, beschäftigt. — Das Werk endigt mit Bemerkungen über die letzten Untersuchungen des verstorbenen Verfassers.

Der Ingenieur Ser, früher Zögling der Centralschule, Repetitor im Lehrcursus und Mitarbeiter des gelehrten Professors bei dessen neuesten Untersuchungen, war der ganz natürlich zur Herausgabe des hinterlassenen Werkes Bezeichnete, obgleich diese eine mißliche Aufgabe war! Herr Ser hat mit der Pietät des Schülers die Ideen und Absichten des Autors verfolgt, und Nichts versäumt, um das Werk während des Druckes mit den neuesten Entdeckungen und Erfindungen der Wissenschaften zu versehen.

Die vorliegende Auflage ist von Dr. Hartmann, der schon 1829 die erste edirte, vollständig bearbeitet worden, d. h. im Allgemeinen und Speciellen hat er die Arbeit Peclet's wiedergegeben, allein er hat zur Platzersparung Unwesentliches und für Deutschland Unwichtiges weggelassen und dagegen manche wichtige, namentlich praktische Thatsache, die dem verewigten Verfasser und dem Herausgeber des Originales entgangen, oder die rein deutsch ist, zugesetzt. Hiermit glaubt er seine Aufgabe, das classische französische Werk auch in dieser neuen Form seinen Landsleuten zugänglich zu machen, am Besten gelöst zu haben.

Im October 1859.

Inhaltsverzeichniss.

Seite

Zweites Buch.

Das Ausströmen der verdichteten Gase.

Drittes Buch.

Von den Gasen.

Seite

Siebentes Capitel.

Achtes Capitel.

Viertes Buch.

Bewegungen der Luft durch Maschinen oder durch Dampfströme hervorgebracht.

Erstes Capitel.

Zweites Capitel.

Drittes Capitel.

Viertes Capitel.

Fünftes Capitel.

Sechstes Capitel.

Siebentes Capitel.

Achtes Capitel.

Neuntes Capitel.

Fünftes Buch.

Von den Feuerheerden.

Erstes Capitel.

Zweites Capitel.

Vorrede.

Das Manuscript zu dieser dritten Auflage des umstehend näher bezeichneten Werkes über die Wärme war vollständig vollendet und sollte von dem Verfasser in Druck gegeben werden, als ihn der Tod von seinen Arbeiten wegnahm. Sein ganzes Leben hindurch mit den physischen Wissenschaften beschäftigt, über die er sehr wichtige, Epoche machende, Werke herausgegeben, widmete er sich vorzugsweise dem tiefern Studium der Erscheinungen der Wärme. Er war der erste, der die theoretischen Grundsätze und die praktischen Regeln derselben in einem System zusammenstellte, welches seitdem für die gewerblichen Anwendungen maßgebend geworden, so daß er eine neue Wissenschaft „die angewandte Physik", geschaffen hat.

Diese Wissenschaft lehrte er dreißig Jahre hindurch an der Centralschule mit dem größten Erfolg und bereicherte sie fortwährend durch zahlreiche Versuche und Untersuchungen.

Die vorliegende dritte Auflage ist von der vorhergehenden vollständig verschieden. Die wiederholte Bearbeitung aller Theile, die wichtigen Zusätze, welche gemacht und die Gegenstände,

welche in derselben zum ersten Male behandelt worden sind, stellen diese Auflage als ein ganz neues Werk dar.

Dasselbe besteht aus drei Bänden. Der erste enthält die zum Studium der verschiedenen Anwendungen und Benutzungen der Wärme erforderlichen Elemente. Er handelt von den Brennmaterialien, von den Bewegungen der Gase, von den Essen, Heerden und Oefen, der Ventilation und der Mittheilung der Wärme. Man findet in demselben die neuen Versuche von Péclet über das Ausströmen verdichteter Gase und über die Transmission und Emission der Wärme.

Im zweiten Bande sind die Apparate zum Verdampfen, Abdampfen und zum Trocknen, so wie die zur Erwärmung der Gase, der Flüssigkeiten und der festen Körper angewendeten Vorrichtungen untersucht.

Die Heizung und Ventilirung der öffentlichen und der Wohngebäude sind die Gegenstände, mit denen sich der dritte Band, im ganzen Umfange seiner Wichtigkeit, beschäftigt. — Das Werk endigt mit Bemerkungen über die letzten Untersuchungen des abgeschiedenen Verfassers.

Der Ingenieur Ser, früher Zögling der Centralschule, Repetitor im Lehrcours und Mitarbeiter des gelehrten Professors bei seinen neuesten Untersuchungen, war der ganz natürlich zur Herausgabe des hinterlassenen Werkes Bezeichnete, obgleich diese eine mißliche Aufgabe war! Herr Ser hat mit der Pietät des Schülers die Ideen und Absichten des Autors verfolgt, doch Nichts versäumt, um das Werk während des Drucks mit den neuesten Entdeckungen und Erfindungen der Wissenschaften zu versehen.

Die vorliegende Auflage des Originals ist von Dr. Hartmann, der schon 1829 die erste edirte, vollständig bearbeitet worden, d. h. im Allgemeinen und Speziellen hat er die Arbeit Péclet's wiedergegeben, allein er hat, zur Platzersparung Unwesentliches und für Deutschland Unwichtiges weggelassen und dagegen manche wichtige, namentlich praktische Thatsache, die dem verewigten Verfasser und dem Herausgeber entgangen, oder die rein deutsch ist, zugesetzt. Hiermit glaubt er seine Aufgabe, das klassische, französische Werk auch in dieser neuen Form seinen Landsleuten zugänglich zu machen, am besten gelöst zu haben.

Im October 1859.

Erstes Buch.

Von der Verbrennung und von den Brennmaterialien.

Die Wärme kann auf sehr mannigfache Weise erzeugt werden, entweder durch chemische oder mechanische Einwirkung oder durch Elektrizität. Wir beschäftigen uns hier nur mit der unter der Benennung der Verbrennung bekannten chemischen Wirkung, indem dies die gewöhnliche Weise der Wärmeerzeugung ist.

Erstes Kapitel.

Von der Verbrennung im Allgemeinen.

1. Die Verbrennung beruht einzig und allein in der Verbindung eines Körpers mit dem Sauerstoff; diese Erscheinung ist häufig, jedoch nicht immer von Wärme und Licht begleitet.

2. Der Sauerstoff ist ein gasförmiger, farbloser, geruch- und geschmackloser Körper, der alle Eigenschaften der atmosphärischen Luft hat, von welcher er einen der Grundbestandtheile bildet. Dem Volum nach besteht die Luft aus 91 Stickstoff und 21 Sauerstoff. Der erstere spielt nur eine passive Rolle bei den Verbrennungserscheinungen, aus welchem Grunde wir ihn auch hier ganz unberücksichtigt lassen.

3. Der Sauerstoff hat die bemerkenswerthe Eigenschaft, sich mit allen einfachen und mit einer großen Anzahl zusammengesetzten Körpern zu verbinden. Alle diese Körper werden alsdann Brennmaterialien genannt.

4. Die Verwandtschaft der verschiedenen brennbaren Körper zu dem Sauerstoff ist außerordentlich verschieden. Einige absorbiren ihn bei der gewöhnlichen, andere erfordern eine höhere Temperatur; noch andere endlich können sich nur dann mit dem Sauerstoff verbinden, wenn er sich bei einer beginnenden Verbindung entwickelt.

5. Der Sauerstoff kann auf sehr verschiedenartige Weise mit einem brennbaren Körper in Berührung gebracht werden; man kann die Verbren=

nung der Körper mit der Luft durch reinen Sauerstoff oder durch Gemenge desselben mit andern Gasen und selbst durch feste oder flüssige, sauerstoffhaltige Verbindungen bewirken. In allen Fällen bildet sich eine Verbindung des brennbaren Körpers mit dem Sauerstoff. Wenn die Verbrennung eines Körpers in der Luft erfolgt, so liefert diese letztere den erforderlichen Sauerstoff; wenn das Volum, in welchem die Verbrennung bewirkt wird, im Verhältniß zu dem Gewicht des Brennmaterials klein ist, so ist der Sauerstoff bald verbraucht und die Verbrennung hört auf; es muß daher die Luft fortwährend erneuert werden. Wenn ein Metall durch eine Säure aufgelöst wird, so erleidet es eine wirkliche Verbrennung, und es ist die Säure oder das Wasser, welche durch ihre Zersetzung den erforderlichen Sauerstoff liefern. Bei der Detonation des Pulvers endlich erleiden die brennbaren Stoffe, die es enthält, Schwefel und Kohle, ebenfalls eine Verbrennung, zu welcher der Sauerstoff von dem Salpeter hergegeben wird.

6. Aus dem Vorhergehenden läßt sich folgern, daß das Produkt der Verbrennung um den gesammten absorbirten Sauerstoff schwerer sein muß als der brennbare Körper. Die Produkte der Verbrennung können aber fest, flüssig oder gasförmig sein. In den beiden ersten Fällen ist der Rückstand der Verbrennung das ganze Produkt und man erkennt sehr leicht, daß eine Gewichtszunahme stattgefunden hat. Im letztern Falle entwickeln sich die Produkte, indem sie sich bilden, und der Rückstand wird einzig und allein durch die unverbrennlichen Substanzen gebildet, die in dem verbrannten Material vorhanden waren. Auf diese Weise erhält man z. B. durch die Verbrennung des Blei's in einem thönernen oder gußeisernen Gefäß als Produkt eine graue Substanz, die weit schwerer ist, als das angewendete Blei; während bei der Verbrennung von Holz oder Steinkohle nur die in diesen Brennmaterialien enthaltenen fremdartigen Substanzen zurückbleiben. Es müssen daher die Produkte und die Rückstände wohl von einander geschieden werden. Die Produkte sind Verbindungen des Sauerstoffs mit den brennbaren Körpern, deren Gewicht stets das dieser letztern übersteigt, die aber bei dem Rückstande bleiben, oder sich entwickeln, je nachdem sie fest oder gasförmig sind.

7. Wir haben schon gesagt, daß die Verbrennung in der Luft gewöhnlich von Wärme und Licht begleitet sei. Es scheint, daß sich das Licht nicht eher zu zeigen beginnt, als wenn die Temperatur des Körpers wenigstens 400 Grad*) beträgt. Bei dieser Temperatur ist das Licht dunkelroth und kaum sichtbar; in dem Maß aber, als die Temperatur zunimmt, wird das Licht heller, d. h. kirschroth und bei einer sehr hohen Temperatur wird es fast weiß.

8. Ein festes Brennmaterial bleibt in diesem Zustande, sei seine Temperatur welche sie wolle während der ganzen Dauer der Verbrennung, indem diese Erscheinung nur an der Oberfläche des Brennmaterials stattfindet, und daher diese Oberfläche allein leuchtet. Obgleich die umgebende Luft einer sehr hohen Temperatur ausgesetzt ist, so leuchtet sie doch nicht, weil die Gase nicht im Stande sind, durch eine mitgetheilte Wärme, sei dieselbe auch noch so groß, es zu werden. Nur bei ihrer eigenen Verbren-

*) Der Bearbeiter bemerkt hier ein für alle Mal, daß die Thermometergrade sich auf die Celsius'sche oder 100theilige Scala beziehen.

nung leuchten sie. So leuchtet z. B. Holzkohle ohne alle andern brennbaren Stoffe nur an ihrer Oberfläche. Die von ihr gewöhnlich hervorgebrachte Flamme rührt wenigstens im Anfang der Verbrennung von einer gewissen Wasserstoffmenge her, die sie stets enthält, sowie auch von dem Wasser, welches die Kohle durch ihre Berührung mit der Luft absorbirt hat und welche sich in einer hohen Temperatur zersetzt.

9. Wenn aber der brennbare Körper sich in einer niedern Temperatur als die bei der Verbrennung entwickelte ist, in Dämpfe verwandeln kann, so werden die Dämpfe selbst verbrennen. Der Ort der Verbrennung wird alsdann ein über dem Brennmaterial liegender Raum sein; denn alle diese Dämpfe sind in der hohen Temperatur, in der sie sich befinden, leichter als die Luft. Dieser leuchtende Raum, Flamme genannt, erlangt eine Form, die zu gleicher Zeit von der Richtung und der Geschwindigkeit des Dampf- und Luftstroms abhängt. Wenn die brennbaren Körper, statt sich in Dämpfe zu verwandeln, sich zersetzen und brennbare Gase entwickeln, wie z. B. das Holz, die Steinkohlen und die Oele, so zeigen diese Gase durch ihre Verbrennung dieselbe Erscheinung.

10. Die Flamme wird wirklich durch die Verbrennung der Gase hervorgebracht, wovon man sich leicht durch Versuche überzeugen kann. Wenn man eine Kerze derart auslöscht, daß die Dochtspitze noch glühend bleibt, so entwickelt sich ein dicker und stark riechender Rauchstrahl; hält man nun einen brennenden Körper an diesen Rauch, so entzündet er sich, die Verbrennung pflanzt sich schnell von oben nach unten bis zu dem Docht fort, die Kerzenflamme wird das wieder, was sie vorher war, und der Rauch hört auf. Man kann sogar diesen Rauch in einer gewissen Entfernung von dem Docht verbrennen und es verhindern, daß sich die Verbrennung bis zu ihm fortpflanze; man braucht zu dem Ende nur eine Metallgaze etwas über den Docht zu halten und die hindurch strömenden Gase zu entzünden, wodurch man über der Gaze eine Flamme und unter derselben Rauch erhält. Zur Erreichung dieser Wirkung ist es aber nothwendig, daß die Gaze um so enger sei, je brennbarer die aufzuhaltenden Gase sind. Diese eigenthümliche Eigenschaft der Drahtgewebe ist von Davy der dadurch veranlaßten Abkühlung der Flamme zugeschrieben worden. Es ist aber möglich, daß der Grund in einer wirklichen Abstoßung zwischen den erhitzten Körpern liegt.

11. Die Flamme leuchtet nur an ihrer Oberfläche, weil es nur das mit der Luft in Berührung stehende Gas ist; davon kann man sich sehr leicht überzeugen, wenn man ein Metallgewebe durch eine Kerzenflamme legt; das Gewebe unterbricht die Flamme und darüber sieht man den mittlern Theil der Flamme gänzlich schwarz.

12. Die Länge der Flamme ist der von einem Querschnitt des Gases, während sich die Verbrennung von der Peripherie zur Mitte dieses Schnittes fortpflanzt, durchlaufene Weg. Sie ist offenbar um so bedeutender, je weniger schnell sich die Luft erneuert. Man kann den Einfluß der Geschwindigkeit des Luftstroms auf die Ausdehnung der Flamme mittels einer Cylinderlampe erkennen; wenn man die Höhe des Cylinders mittels einer Papierröhre von gleichem Durchmesser vermehrt, wodurch die Geschwindigkeit des Luftstroms vermehrt wird, so vermindert sich die Höhe der Flamme. Macht man den Cylinder niedriger oder seine Oeffnung enger,

wodurch die Geschwindigkeit des Luftzugs vermindert wird, so verlängert sich die Flamme. Es hat dies eine sehr wichtige Folgerung für die Gewerbe, indem man nach Belieben die Flamme dadurch verlängern oder verkürzen kann, daß man den Zug vermindert oder vermehrt.

13. Wenn die brennbaren Gase von einer großen Oberfläche eines glühenden Körpers ausgehen, so können sie niemals vollständig verbrennen, wenigstens wenn man kein besonderes Mittel zur Vermehrung der Geschwindigkeit des Luftzuges angewendet, indem der mittlere Theil der Gassäule eine zu geringe Temperatur hat, wenn sie mit der Luft in Berührung tritt. Aus diesem Grunde konnte man bis zu der Erfindung Argant's bei den Lampen nur Dochte von geringem Durchmesser anwenden und folglich nur schwache Lichtgrade hervorbringen. Allein mit der Benutzung ringförmiger Brenner, sowohl einfacher als auch mehrfacher, mit Cylindern oder Essen, durch welche die Luft ins Innere und ans Aeußere des Dochtes angesaugt, und wobei die Geschwindigkeit des Luftstroms durch den Zug des Cylinders beschleunigt wird, ist man dahin gelangt, ein viel stärkeres Licht, eine rauchlose Verbrennung und eine größere Leistung des Oeles hervorzubringen als bei den alten Apparaten.

14. Die Flamme hat von Natur eine senkrechte Richtung von unten nach oben und zwar in Folge der hohen Temperatur der Gase; allein diese Richtung wird durch die des Luftstroms verändert. Die Flamme kann auf irgend eine Weise geneigt, sie kann selbst horizontal und nach unten gerichtet werden.

15. Die Verbrennung der gasförmigen Körper erzeugt eine weit höhere Temperatur als die der festen Körper; man ersieht dies aus der Farbe und dem Glanz der Flamme, einen Glanz, den man auf festen Körpern nur mit Hülfe einer Verbrennung hervorbringen kann, die durch einen künstlichen Luftzug mit Hülfe eines Gebläses oder durch einen Sauerstoffstrom unterhalten wird. Man überzeugt sich direkt von dieser Thatsache, indem man in die Flamme kleine feste Körper hält; sie werden in derselben so glühend, wie es nur durch eine sehr hohe Temperatur bewirkt werden kann.

16. Zur Entzündung der Gase ist, je nach ihrer Beschaffenheit, eine höhere oder niedrigere Temperatur erforderlich. Es giebt deren, die sich in der Luft bei gewöhnlicher Temperatur entzünden, wie die Phosphorwasserstoff-Gase. Andere erfordern eine höhere Temperatur als die Kirschrothgluth; dahin gehören die meisten durch die bei der Feuerung und Erleuchtung angewendeten Brennmaterialien hervorgebrachten Gase. Bekanntlich kann aber ein kirschrothglühender Körper den Rauch einer Lampe, einer Kerze, eines Holzes u. s. w. nicht entzünden.

17. Wenn die Verbrennung irgend eines festen, flüssigen oder gasförmigen Körpers vollständig erfolgt, so ist die Menge der entwickelten Wärme, wie wir weiter unten sehen werden, bei gleicher Brennmaterialmenge stets dieselbe, seien auch die Umstände der Verbrennung welche sie wollen. Sie ist dieselbe, wenn die Verbrennung mit der Luft unter einem größern oder kleinern Druck als dem atmosphärischen bewirkt wird, wenn der Sauerstoff in größerer oder geringerer Menge in der Luft enthalten ist, und selbst wenn die Verbrennung in reinem Sauerstoff erfolgt. Das Licht ist dagegen bei demselben Brennmaterial und bei demselben Verbrauch

in gleicher Zeit mit den Umständen verschieden, welche die Verbrennung begleiten, hauptsächlich aber mit der Geschwindigkeit des Luftzuges.

18. Soll die Flamme eines brennbaren Gases die möglichst glänzende, so muß seine Temperatur sehr hoch sein und folglich der die Verbrennung unterhaltende Luftstrom sehr schnell. In dem Maß aber, daß sie an Glanz zunimmt, verliert sie derart an Ausdehnung, daß ein Moment eintritt, in welchem sich ihre Leuchtkraft vermindert. Es giebt in jedem besondern Fall eine Geschwindigkeit des Luftzuges, welcher die stärkste Leuchtkraft gewährt und das ist nämlich der, welcher der Flamme eine Luftmenge zuführt, die nur hinreichend ist, um die vollständige Verbrennung zu bewirken.

19. Soll eine Flamme recht glänzend sein, so muß sie feste Substanzen enthalten; zu dem Ende müssen stets feste Körper in ihr enthalten, oder es müssen die Gase vor ihrer Verbrennung abgesetzt, oder endlich das Produkt der Verbrennung muß fest sein. Alle Verbrennungen der Gase, die nicht der einen oder der andern dieser Bedingungen entsprechen, geben nur ein schwaches Licht. So erhält man von der Verbrennung des reinen Wasserstoffgases oder des Schwefels eine nur wenig helle Flamme, weil das Verbrennungsprodukt des Wasserstoffs Wasserdampf und das des Schwefels gasförmige schweflige Säure ist. Dagegen geben die Flammen des Phosphors, des Arsens und des Kohlenwasserstoffs sehr helle Flammen, weil die Verbrennung der beiden ersten feste Körper giebt und weil der des Kohlenwasserstoffs ein Absatz von Kohle vorangeht. Wenn man ferner die ihrer Natur nach nicht hellen Flammen mit einem Mantel versieht, wie z. B. die des Wasserstoffs mit einem Geflecht von Platindraht, so erlangt das Metall eine bedeutende Leuchtkraft und das Gas giebt durch seine Verbrennung viel Licht.

20. Wir gehen jetzt nicht näher in die Verbrennung ein, allein, wenn wir von den einzelnen in den Gewerben benutzten Brennmaterialien reden, so werden wir uns mit den eigenthümlichen Umständen beschäftigen, welche ihre Verbrennung darbietet, sowie auch mit den Produkten, welche sie gewähren.

Zweites Kapitel.

Von den Brennmaterialien im Allgemeinen.

21. Wärmeeinheit (Calorie). — Wärmeeffekt oder Heizkraft. — Wärmeeinheit nennen wir die Wärmemenge, welche dazu erforderlich ist, die Temperatur einer Kilogrm. Wasser um 1 Grad zu erhöhen und Wärmeeffekt oder Heizkraft eines Brennmaterials nennen wir die Anzahl von Wärmeeinheiten, die 1 Kilogrm. dieser Körper durch seine vollständige Verbrennung hervorbringt.

Die erstere Erklärung setzt nothwendig voraus, daß die spezif. Wärme des Wassers constant sei, welches sehr annähernd richtig ist; die zweite setzt voraus, daß gleiche Gewichte eines und desselben Brennmaterials durch ihre

Verbrennung stets eine gleiche Wärmemenge geben, seien auch die Umstände, unter denen die Verbrennung erfolgt, welche sie wollen; es ist dies eine gleichfalls durch die Erfahrung bestätigte Thatsache.

22. **Methoden, welche zur Bestimmung des Wärmeeffekts der Brennmaterialien angewendet werden.** — Rumford war der erste, welcher sich mit der Bestimmung des Wärmeeffekts der Brennmaterialien beschäftigt hat; der von ihm angewendete Apparat ist in allen physikalischen Lehrbüchern beschrieben. Er besteht in einem niedrigen Kasten von Kupferblech, in welchem ein Schlangenrohr cirkulirt, das an dem einen Ende in einen umgekehrten Trichter, der unter dem Kasten angebracht ist, ausläuft und am andern Ende in eine senkrechte Röhre, die sich bis zu einer gewissen Höhe erhebt. Um diesen Apparat zu benutzen, füllt man den Kasten mit Wasser von einer gewissen Temperatur an und läßt in die gewundene Röhre den Rauch von dem unter dem Trichter verbrannten Brennmaterial einströmen. Wenn man nun das Gewicht des verbrannten Brennstoffes, das Gewicht des in dem Kasten befindlichen Wassers, seine Temperaturzunahme, das Gewicht und die Wärmecapazität des Materials, aus welchem der Kasten besteht, kennt, so läßt sich der Wärmeeffekt des verbrannten Brennstoffes leicht bestimmen. Die Benutzung des Rumfordschen Calorimeters erfordert außer der Correktion, die sich auf die Abkühlung des Apparats bezieht, noch mehre andere, nicht minder wichtige: die eine bezieht sich auf die Wärmemenge, welche durch die aus der Röhre ausströmende Gase mitgeführt wird; eine andere auf die Wärme, welche durch die Ausstrahlung des Brennmaterials unterhalb des Trichters, unter welchem die Verbrennung stattfindet, verloren geht; endlich eine letztere auf die brennbaren nicht verbrannten Substanzen, welche von dem verbrannten Luftstrome mitgenommen werden. Da nun diese Correktionen nicht gemacht worden sind, so mußten die von Rumford erhaltenen Resultate zu gering sein.

23. Laplace und Lavoisier haben ebenfalls sehr viel Versuche mittels des ihren Namen tragenden Calorimeters angestellt; durch das Innere des mit Eis angefüllten Gefäßes ging eine gewundene Röhre, welche einerseits mit einem Trichter, unter welchem das Brennmaterial verbrannt wurde und andererseits mit einer senkrechten Röhre in Verbindung stand, die als Esse diente. Die erzeugte Wärmemenge wurde durch die Menge des geschmolzenen Eises bestimmt. Die mit diesem Apparat erlangten Resultate waren ebenfalls sehr mangelhaft.

24. Später hat Despretz mit einigen Körpern genauere Versuche angestellt. Er bediente sich des Rumfordschen Calorimeters, jedoch derart verändert, daß die bezeichneten Ursachen von Irrthümern vermieden wurden. Despretz hat für den Wärmeeffekt des Kohlenstoffs die Zahl 7914 und für den des Sauerstoffs 23640 erhalten. Die erstere Zahl nähert sich denen, welche durch neuere Versuche erlangt worden sind.

25. Lange Zeit hindurch hat man angenommen, daß die von verschiedenen einfachen oder zusammengesetzten Brennmaterialien hervorgebrachten Wärmemengen den absorbirten Sauerstoffmengen proportional seien. Diese Hypothese wurde auf die Erfahrungen von Despretz über den Kohlenstoff und über den Sauerstoff gestützt, in Folge deren die produzirten Wärmemengen sich im Wesentlichen wie 1 : 3 verhalten, welches dasselbe

des Sauerstoffgewichts ist, der durch dieselben Gewichtsmengen dieser Brennmaterialen absorbirt wird.

Ein sehr einfaches und leichtes Verfahren zur Bestimmung der aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehenden Brennmaterialien, hat Berthier aufgestellt; es läßt sich dasselbe auch leicht auf Holz von verschiedenen Graden der Trockenheit und Verkohlung, auf Torf sowie auf die mineralischen Brennstoffe anwenden. Dieses Verfahren besteht darin, die Bleimenge zu bestimmen, welche die Brennstoffe mit einem Ueberschuß von Bleiglätte produziren. Da der reine Kohlenstoff ein Glättegewicht reduzirt, welches den 34fachen seines Gewichts Blei entspricht, so erhält man das Aequivalent des Brennmaterials an Kohlenstoff, indem man das Gewicht des Bleikönigs mit 34 dividirt.

Dieses Verfahren ist aber unsicher, denn indem sich gleiche Mengen von Sauerstoff mit Kohlenstoff und Wasserstoff verbinden, geben sie ungleiche Wärmemengen. So werden wir weiter unten sehen, daß die Verbrennung gleicher Gewichtsmengen von Kohlen- und Wasserstoff 8080 und 34462 Wärmeeinheiten giebt. Da nun die absorbirten Sauerstoffgewichte 2,67 und 8 Kilogrm. sind, so produzirt 1 Kilogrm. Sauerstoff durch seine Verbindung mit dem Kohlenstoff und Wasserstoff 3049 und 4307 Wärmeeinheiten, Zahlen, welche in dem Verhältniß von 1: 1, 41 stehen.

26. Dulong hat eine lange Reihe von Versuchen über die Wärmemengen, die von einer großen Menge von Körpern entwickelt wird, angestellt; wir theilen davon nur diejenigen mit, welche Interesse für uns haben.

Wasserstoff	34,742
Kohlenstoff	7,170
Kohlenoxydgas	2,488
Kohlenwasserstoff. C. H.^{2} (Oel bildendes Gas)	13,205
Kohlenwasserstoff. C. H.^{4} (Grubengas) . . .	12,032
Schwefel	2,601
Schwefeläther	9,430
Terpentinöl	10,836
Olivenöl	9,862
Alkohol	6,855

Es folgt auch aus den Dulongschen Versuchen, daß die durch die Verbindung eines Liters Sauerstoffgas mit verschiedenen Körpern nicht, wie man angenommen hatte, constant ist; denn sie beträgt mit

Wasserstoff	6172
Sumpfluft	4793
Kohlenstoff	3921
Eisen	6216
Kupfer	3720
Kobalt	5721

27. Endlich ist auch die Frage von dem Wärmeeffekt der Brennmaterialien neuerlich von Favre und Silbermann aufgenommen worden. Die sinnreiche Einrichtung der Apparate, die angewendeten Mittel, um alle Ursachen der Irrthümer in Rechnung bringen zu können, die Sorgfalt, mit welcher die Verbrennungs-Producte gesammelt und analysirt worden sind, sowie endlich die Uebereinstimmung der Resultate bei den sich auf einen und denselben Körper beziehenden Versuche, stellen diese treffliche Arbeit weit

über die bis dahin über diese wichtige Frage bekannt gemachten und gestatten gar keine Zweifel über die große Genauigkeit der erlangten Zahlen. Die von Favre und Silbermann untersuchten Fragen sind viel zahlreicher als die von Dulong zu lösen versuchten. Bei den gemeinschaftlich gelösten sind die Resultate, wie wir noch sehen werden, nur wenig verschieden, ausgenommen beim Kohlenstoff; es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Differenz von dem Kohlenoxyd herrührt, welches sich stets in mehr oder weniger geringer Menge produzirt und welches Dulong unberücksichtigt gelassen hatte.

28. Es würde uns hier zu weit führen, den Apparat von Favre und Silbermann speziell zu beschreiben; wir beschränken uns auf eine Angabe der hauptsächlichsten Vorrichtungen.

Der Apparat besteht aus 3 cylindrischen und concentrischen Gefäßen, die wir mit den Buchstaben A, B, und C, bezeichnen wollen; der innere Cylinder A ist mit destillirtem Wasser angefüllt; der Zwischenraum zwischen den Cylindern A und B enthält eine Schwanenhaut mit den Federn, ein Stoff, der die Wärme sehr schlecht leitet; der Zwischenraum zwischen den Gefäßen B und C ist mit Wasser angefüllt, welches man auf der äußern Temperatur erhält. Die Verbrennungskammer ist ein in der Mitte des Gefäßes A befestigtes Gefäß, folglich mit Wasser umgeben und in welchem die Verbrennung der Körper, mit Hülfe verschiedener Einrichtungen, je nach der Beschaffenheit der Körper durch reinen Sauerstoff bewirkt wird. Die durch die Verbrennung entstandenen Gase entweichen durch eine lange Schlangenröhre, welche die Verbrennungskammer umgiebt und in welcher die Gase die Temperatur des Wassers annehmen. Sie gelangen alsdann in die Apparate, in denen sie gesammelt werden. Wenn das Gefäß A, welches alles Wasser enthält, in das die gesammte erzeugte Wärme eingeht, sich nicht abkühlte, so würde der Wärmeeffekt des Brennmaterials sehr leicht bestimmt werden können; allein während der ganzen Dauer des Versuchs ist ein Theil von der in das Wasser übergegangenen Wärme durch das Gefieder der Schwanenhaut entwichen, um in den äußern Wassermantel einzudringen. Diese Wärmemenge muß gemessen und derjenigen welche durch die Temperaturerhöhung des Wassers in dem Gefäß A hervorgebracht worden, zugesetzt werden. Um sie zu bestimmen, hat man direkte Versuche über die Abkühlung dieses Gefäßes A gemacht; man hat gefunden, daß diese Abkühlung bis 10 Grad im Verhältniß zu dem Temperatur-Ueberschuß über den des Wassermantels zwischen den Gefäßen B und C, und daß er für einen Temperatur-Ueberschuß von 1 Grad während einer Minute = 0,002 Grad sei. Wenn man nun in kurz aufeinander folgenden Zeiträumen, während der Dauer der Verbrennung die gleichzeitigen Temperaturen des Gefäßes A und des Wassermantels kennt, so ist es leicht, die Correktion, um die es sich handelt, zu berechnen.

29. Nachstehend theilen wir die Wärme-Effekte der wichtigsten Körper für den uns beschäftigenden Gegenstand, aus der Arbeit von Favre und Silbermann mit:

Wasserstoff	34,462
Stark kalzinirte Holzkohle . . .	8,080 *)

*) Ohne das gebildete Kohlenoxyd zu berücksichtigen, würde der Wärmestoffeffekt nur 7833 betragen.

Zuckerkohle	80,039
Holzkohlen aus Gasretorten . .	8,047
Hohofengraphit	7,762
Natürlicher Graphit	7,796
Diamant	7,770
Kohlenoxyd	2,403
Kohlen=Wasserstoffgas, CH^2 . .	13,063
Kohlen=Wasserstoffgas, CH^4 . .	11,857
Schwefeläther	9,027
Alkohol	7,183
Terpentinöl	10,852
Schwefel	2,240
Schwefelkohlenstoff	3,400
Wachs	10,496

Vergleicht man nun diese Zahlen mit den von Dulong (26), mitgetheilten, so sieht man, daß ein wesentlicher Unterschied nur für den Kohlenstoff stattfindet.

30. Die in den Gewerben angewendeten Brennmaterialien, Holz, Torf, Braun= und Steinkohlen bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, und es ist daher von Wichtigkeit zu untersuchen, ob, wie von Dulong angegeben, ihr Wärmeeffekt gleich der Summe der Wärmeeffekte der sie bildenden Elemente ist, wobei jedoch von dem Wasserstoff stets derjenige abgezogen werden muß, welcher mit dem Sauerstoff des Brennmaterials Wasser bilden würde. Es läßt sich a priori erkennen, daß dieses Gesetz nicht genau sein kann, denn der Wärmeeffekt des Kohlenstoffs hängt von seinem Cohärenz=Zustande ab und man kann eine Verbindung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff als aus Wasser, aus Wasserstoff und aus Kohlenstoff gebildet ansehen; da aber in den Gewerben annähernde Bestimmungen hinreichend sind, so ist es von Wichtigkeit zu untersuchen, ob die fragliche Annahme für die zusammengesetzten Körper zu Zahlenwerthen führt, von denen die der direkten Versuche wenig verschieden sind.

Für das Kohlenwasserstoffgas CH^2, auch ölbildendes Gas genannt, welches aus 0,75 Kohlenstoff und 0,25 Wasserstoff besteht, würde der Wärmeeffekt folgender sein:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}75.\ \ 8080 = 6060 \\ 0{,}25.\ \ 34462 = 8616 \end{array}\right\} 14676$$

Für den Kohlenwasserstoff CH^4 auch Grubengas genannt, der aus 0,8571 Kohlenstoff und 0,1429 Wasserstoff besteht, würde der Wärmeeffekt sein:

$$\left.\begin{array}{l} 0,\ 8571.\ \ 8080 = 6925 \\ 0.14029.\ \ 34462 = 4925 \end{array}\right\} 11850$$

Für das Terpentinöl, welches aus 0,8824 Kohlenstoff und aus 0,1176 Wasserstoff besteht, würde der Wärmeeffekt sein:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}8824.\ \ 8080 = 7130 \\ 0{,}1176.\ \ 34462 = 3817 \end{array}\right\} 10946$$

Für den Alkohol, der aus 0,5265 Kohlenstoff, 0,192 Wasserstoff und 0,3445 Sauerstoff oder aus 0,5265 Kohlenstoff, 0,0865 Wasserstoff und 0,3870 Wasser besteht, würde der Wärmeeffekt sein:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}5265.\ \ 8080 = 4254 \\ 0{,}0865.\ \ 34462 = 2981 \end{array}\right\} 7235$$

Für den Schwefeläther, der aus 0,6531 Kohlenstoff, 0,1333 Wasserstoff und 0,2936 Sauerstoff, oder aus 0,6135 Kohlenstoff, 0,1066 Wasserstoff und aus 0,2403 Wasser besteht, würde der Wärmeeffekt sein:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}6531.\ 8080 = 5277\\ 0{,}1066.\ 34462 = 3673\end{array}\right\}\ 8950$$

Für das Wachs, welches aus 0,816 Kohlenstoff, aus 0,139 Wasserstoff und aus 0,045 Sauerstoff, oder aus 0,816 Kohlenstoff, aus 0,1333 Wasserstoff und aus 0,0507 Wasser besteht, würde der Wärmeeffekt sein:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}\ 816.\ 8080 = 6593\\ 0{,}1333.\ 34462 = 4593\end{array}\right\}\ 11186$$

Man findet demnach für das ölbildende und das Grubengas, für das Terpentinöl, den Alkohol, den Schwefeläther und das Wachs durch Rechnung die Zahlen:

14676 11850 10946 7235 8950 11186

Während die direkten Versuche geben

13063 11857 10852 7183 9027 10500

Die Verhältnisse der erstern Zahlen zu den letztern sind demnach

1,123 0,998 1,008 1,007 0,991 1,068

Alle diese Zahlen differiren nur wenig von der Einheit mit Ausnahme der erstern; allein diese entspricht einem Körper, der eine sehr bedeutende Wasserstoffmenge, nämlich 0,25 enthält. Wir können daher mit einer für die Praxis hinreichenden Annäherung annehmen, daß die Wärmeeffekte der Körper, die höchstens 0,14 Wasserstoff enthalten, nach ihrer Zusammensetzung berechnet werden können, indem man nur den überschüssigen Theil des Wasserstoffs über denjenigen unberücksichtigt läßt, welcher zur Verwandlung des Sauerstoffs in Wasser erforderlich ist. Dieses annähernde Rechnungsverfahren läßt sich auf Holz, Torf und Steinkohlen anwenden, indem in diesen Brennmaterialien das Verhältniß des überschüssigen Wasserstoffs niemals mehr als 0,06 beträgt, wie wir weiter unten sehen werden. Wendet man diese Grundsätze auf das Olivenöl an, welches aus 0,7721 Kohlenstoff, 0,1336 Wasserstoff und 0,0943 Sauerstoff besteht, so findet man 10,435 für den Wärmeeffekt. Dasselbe Calcül auf das Talg angewendet, welches aus 0,79 Kohlenstoff, 0,117 Wasserstoff und 0,093 Sauerstoff besteht, geben 10,035.

31. Wir nehmen außerdem an, daß die entwickelte Wärmemenge dieselbe ist, wenn die vollständige Verbrennung unmittelbar oder wenn sie nach und nach erfolgt. Es wird daher z. B. der Kohlenstoff denselben gesammten Wärmeeffekt geben, mag er nun direkt Kohlensäure, oder zuvörderst Kohlenoxydgas geben, und die Kohlensäure erst durch eine zweite Verbrennung. Es ist dies Prinzip wenigstens für die Verbindung des Wassers mit der Schwefelsäure und mit den Kalk nachgewiesen und es ist auch wahrscheinlich, daß es auch bei andern Verbindungen vorkommt.

Es folgt aus diesem Princip, daß wenn der Kohlenstoff zuvörderst in den Zustand des Oxyds und erst dann in den der Säure übergeht, obgleich die absorbirte Sauerstoffmenge bei diesen beiden Verwandlungen genau dieselbe ist, die beim zweiten Theil der Verbrennung entwickelte Wärme weit größer als in der erstern ist. Wirklich bringt, da das Kohlenoxyd aus 0,428 Kohlenstoff und 0,572 Sauerstoff besteht, 1 Kilogrm. Kohlen=

stoff 1 : 0,428 = 2,333 Kilogrm. Kohlenoxyd hervor, die durch ihre Verbrennung 2,333. 2,403 = 5,607 Wärmeeinheiten produziren und es entwickelt folglich der Kohlenstoff bei seiner Verwandlung in Kohlenoxyd nur 8,080. — 5607 = 2473 Einheiten.

32. Wir nehmen ferner an, daß die durch eine Verbrennung entwickelte Wärmemenge unabhängig von der Temperatur des Körpers und von der der Luft ist.

33. Endlich nehmen wir auch noch an, daß die durch die Verbrennung entwickelte Wärmemenge unabhängig von dem Druck des mitverbrennenden Gases und von dem Verhältniß des Sauerstoffs, welchen dasselbe enthält, ist, wenigstens in den Grenzen, innerhalb welcher die Verbrennung ausgeführt werden kann. Desprez hat denselben Wärmeeffekt für den in der Luft und im reinen Sauerstoff verbrannten Kohlenstoff gefunden.

34. Wir nehmen daher die nachstehenden Zahlen für die Wärmeeffekte der hauptsächlichsten Brennmaterialien an:

Wasserstoff	34,462
Kohlenstoff, der in Kohlenoxyd übergeht	2,473
„ , der in Kohlensäure „	8,080
Graphit	7,800
Kohlenoxyd	2,403
Kohlenwasserstoff CH^2	13,063
Kohlenwasserstoff CH^4	11,857
Schwefeläther	9,027
Alkohol	7,183
Terpentinöl	10,805
Schwefel	2,140
Kohlenstoffschwefel	3,400
Wachs	10,496
Olivenöl	10,435
Talg	10,035

35. Die strahlende Wärme. — Wenn ein Körper in der Verbrennung begriffen ist, so verbreitet sich die hervorgebrachte Wärme auf zweierlei Weise: 1) durch den Luftzug, der sich natürlich um ihn verbreitet, 2) durch Ausstrahlung.

Der Luftzug rührt von der Verbrennung selbst her. Die mit dem glühenden Körper in Berührung stehende Luft erhitzt sich, dehnt sich aus und erhebt sich; sie wird durch kalte Luft ersetzt, die nachdem sie die Verbrennung gespeist hat, ebenfalls aufsteigt. Die zweite Ursache des Wärmeverlustes ist die Folge einer allgemeinen Eigenschaft der erhitzten Körper.

36. Lange Zeit hindurch hat man der Ausstrahlung der Brennmaterialien nur geringe Aufmerksamkeit gewidmet, weil man sie für sehr gering hielt. Um zu zeigen, daß die Ausstrahlung nur eine sehr geringe Wärmemenge verbreitet, hat man als Vergleichungspunkt die Wärme angenommen, die man empfindet, wenn man die Hand entweder von der Seite oder von oben einer Lichtflamme nähert. Seitwärts empfindet man nur die strahlende Wärme; darüber die von dem Luftzuge veranlaßte. Da nun bei gleichen Entfernungen der Temperaturunterschied sehr bedeutend ist, so hat man daraus gefolgert, daß die Verbreitung der Wärme durch die Strahlung sehr gering sei, wenigstens in Beziehung auf diejenige, welche

von dem Luftstrom mit fortgeführt wird. Es kann jedoch dieser auf den ersten Blick als entscheidend erscheinende Versuch nicht zu der allgemein angenommenen Folgerung führen. Wirklich hat der warme Luftstrom nur eine Richtung und einen Querschnitt, welcher von dem der Flamme wenig verschieden ist, während die Ausstrahlung nach allen Richtungen hin erfolgt. Es beweist daher der Versuch, von dem wir geredet, gar nichts für die Ausstrahlung der Flamme und noch weniger für diejenigen der ohne Flamme verbrennenden Brennmaterialien.

37. Der Verfasser hat es versucht, wenigstens annähernd die von verschiedenen Brennstoffen ausgestrahlte Wärme zu bestimmen. Er hat sich dazu des nachstehenden Apparats bedient: A B C D und a b c d Fig. 1. ist ein kranzförmiges Gefäß von Weißblech von 0,30 Meter Höhe und 0,20 Meter innerem Durchmesser; der Zwischenraum zwischen den beiden concentrischen Cylindern beträgt 0,05 Meter. Der innere Cylinder ist oben und unten offen und das Gefäß ist mit Wasser angefüllt; der ganze Apparat steht auf 3 Beinen und der ringförmige Deckel des Gefäßes ist mit zwei röhrenförmigen Ansätzen versehen, von denen der eine ein Thermometer, und der andere den Stiel eines Rührers aufnimmt. In der Mitte des innern Cylinders, dessen Wand geschwärzt ist, hängt ein kleiner Korb von Eisendraht, in welchen man das glühende Brennmaterial bringt. Um sich dieses Apparates zu bedienen, füllt man den kranzförmigen Zwischenraum zwischen den beiden Cylindern mit Wasser und den kleinen Korb mit einer bestimmten Gewichtsmenge Brennmaterial; ein Theil der strahlenden Wärme wird von der untern Oberfläche a b c d des Gefäßes aufgenommen und geht in das Wasser über, welches man von Zeit zu Zeit umrührt. Wenn man glaubt, daß die Operation hinreichende Zeit gedauert hat, so nimmt man den Korb heraus, wiegt ihn und bestimmt dadurch das Gewicht des verbrannten Materials; da man nun das Gewicht des Wassers, das des Metalles und seine Wärmecapacität kennt, so erhält man die in das Gefäß übergegangene Wärmemenge. Um aber diejenige Wärmemenge abzuziehen, welche von der innern Oberfläche a b c d absorbirt worden ist, muß man ganz offenbar diejenige hinzufügen, welche das Gefäß während des Versuchs verloren hat. Dieser Wärmeverlust läßt sich leicht berechnen, indem man für einen gewissen Temperatur-Ueberschuß des Gefäßes über den der äußern Luft beobachtet, ferner die Zeit, welche dazu erforderlich ist, um das Gefäß um einen Grad abzukühlen, und indem man annimmt, daß die in jedem Augenblick verlorene Wärmemenge im Verhältniß zu dem Ueberschuß seiner Temperatur über die der äußern Luft steht. Wenn man nun die Temperatur des Wassers im Gefäß zu verschiedenen nicht weit von einander entfernten Zeiträumen wahrnimmt, so erhält man sehr leicht einen annähernden Werth von der während der Dauer des Versuchs verlornen gesammten Wärmemenge. Kennt man nun die von dem Cylinder a b c d absorbirte Wärmemenge, so muß man, um die von dem Brennmaterial ausgestrahlte Wärme zu bestimmen, die absorbirte Wärmemenge mit dem Verhältniß der Oberfläche einer Kugel, die aus der Mitte des Heerdes als Mittelpunkt beschrieben ist und die, indem sie durch die Kreise a d und a c zur sphärischen Zone der Höhe a b geht, multipliciren, welches Verhältniß das von a c zu a b ist, d. h. in dem benutzten Apparat das vom 1,2. Will man diese Versuche mit einer Oelflamme machen, so muß man in die Mitte des ringförmigen Gefäßes eine oder mehre Lampenflam-

men anbringen, welche durch ein äußeres Reservoir mit constantem Niveau gespeist werden.

38. Wenn man nun bei diesem Versuchen die gesammte produzirte Wärmemenge mit 1 bezeichnet, so ist die strahlende Wärmemenge beim Holz fast = 0,25, für Holzkohlen 0,50, und für das Oel 0,18. Es können aber diese Versuche nur dazu dienen, um zu bestätigen, daß die Menge der von der Holzkohle ausgestrahlten Wärme im Verhältniß zu der von den Flammen ausgestrahlten sehr bedeutend ist, vorausgesetzt, daß die von einem in Verbrennung befindlichen Körper ausgestrahlte Wärmemenge von der Größe der freien Oberfläche abhängt und daß diese Oberfläche für gleiche Brennmaterialien mit dem Volum und der Gestalt des glühenden Körpers verschieden ist.

39. Die in den Gewerben benutzten Brennmaterialien. — Die Zahl dieser Brennmaterialien ist sehr bedeutend, denn es umschließt diese große Klasse von Körpern nicht allein fast alle einfachen, sondern auch sehr viel zusammengesetzte Substanzen. Dagegen ist die Zahl derjenigen, welche man in den Gewerben zur Wärmeentwickelung verwendet, nur gering, da sie, um benutzt werden zu können, mehren wichtigen Bedingungen entsprechen müssen:

1) Sie müssen in der atmosphärischen Luft leicht brennen und es muß die durch die Verbrennung entwickelte Wärme hinreichend sein, um die Verbrennung zu unterhalten. Der Schwefel, die Holzkohle, der Wasserstoff und der Phosphor entsprechen diesen Bedingungen, dagegen Eisen, Blei, obgleich sehr brennbar, entsprechen ihnen nicht; denn wenn diese Metalle glühend sind und man nimmt sie aus dem Heerde, in den man sie bringen mußte, weg, so hört die Verbrennung auf. Es erleidet daher keinen Zweifel, daß diese Wirkung daher rührt, daß das Produkt der Verbrennung, da es fest ist, rings um das Metall eine Rinde bildet, welche es der Berührung mit der Luft entzieht. Dieser Grund wird noch wahrscheinlicher, wenn man berücksichtigt, daß in dem reinen Sauerstoff, in welchem die Verbrennung des Eisens unterhalten wird, die Temperatur hinlänglich hoch ist, um das Eisenoxyd in dem Maß als es sich bildet, zu schmelzen. Sei dem nun wie ihm wolle, so giebt es sehr brennbare Körper, bei denen sich aber die Verbrennung unter gewöhnlichen Umständen nicht von selbst fortpflanzt und diese können daher in den Gewerben weder Wärme noch Licht hervorbringen.

2) Sie müssen häufig vorkommen und ihre Preise dürfen nicht zu hoch sein.

3) Die Verbrennungsprodukte müssen eine solche Beschaffenheit haben, um die Körper, welche die Einwirkung der Wärme aufnehmen, nicht zu verändern, und um nicht Gase oder Dämpfe in die Luft zu verbreiten, die eine nachtheilige Einwirkung auf den Thier- oder Pflanzenhaushalt haben könnten.

40. Kohlen- und Wasserstoff sind die einzigen einfachen Körper, welche diese verschiedenen Bedingungen erfüllen und die einzigen benutzten brennbaren Stoffe sind diejenigen, bei denen diese beiden Körper die hauptsächlichsten Elemente bilden.

41. Die allgemein angewendeten Brennmaterialien sind:

Das Holz,
die Holzkohle,
die Lohe,
der Torf und dessen Kohle,
die Braunkohle und deren Kohle,
die Steinkohle,
die Kokes.

42. In gewissen Fällen wird die Beschaffenheit des anzuwendenden Brennmaterials durch gewisse zu erfüllende Bedingungen bestimmt und zuweilen hat man nur ein einziges zu seiner Benutzung; in den meisten Fällen aber hat man die Auswahl unter mehren. In allen Fällen ist es von Wichtigkeit, ihre Wärmeeffekte zu kennen, um die Dimensionen der Apparate zu berechnen, und um die zu verbrennende Menge zu bestimmen, damit die verlangte Wirkung hervorgebracht werden kann. Lassen sich mehre Arten von Brennmaterialien benutzen, so ist es die Kenntniß ihrer Wärmeeffekte, welche in Vereinigung mit ihrem Preise zur Bestimmung derjenigen dient, deren Benutzung die wohlfeilste ist.

Drittes Kapitel.

Von dem Holz.

43. Nach den Erfahrungen von Gay-Lussac und Thenard über die bei 100 Grad getrockneten Hölzer ist der Faserstoff oder die Holzfaser ihrer Zusammensetzung stets gleich, mag die Pflanze sein, welche sie wolle. Für Eichen- und Buchenholz besteht sie aus 0,5253 und 0,5145 Kohlenstoff und 0,4747 und 0,4855 Sauer- und Wasserstoff in den zur Wasserbildung erforderlichen Verhältnissen.

44. Nach Payen bestehen die Hölzer: 1) aus einer Substanz, die er mit der Benennung cellulose bezeichnet und die stets gleiche Zusammensetzung hat, nämlich aus: 0,444 Kohlenstoff, und 0,556 Sauerstoff und Wasserstoff in den erforderlichen Verhältnissen zur Wasserbildung; 2) Aus einer rindenartigen Substanz, deren Zusammensetzung nach der Beschaffenheit des Holzes verschieden, die aber reicher an Kohlenstoff ist und einen kleinen Ueberschuß an Wasserstoff enthält.

45. Der Director der Spiegelmanufaktur zu Cirey, Eugen Chevandier, hat in dem Laboratorium von Dumas und unter dessen Augen eine Reihe von Versuchen über die Zusammensetzung verschiedener Hölzer angestellt, deren Resultate wir hier mittheilen. Diese Hölzer wurden in Pulver verwandelt und bei 140 Grad getrocknet, ehe sie der Analyse unterworfen wurden. Die Versuche wurden mit verschiedenen Stücken angestellt und oft wiederholt. Die für jede Holzart erlangten mittlern Resultate sind die nachstehenden:

	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.	Stickstoff.	Asche.
Rothbuche .	0,4936	0,0601	0,4269	0,0091	0,0100
Eiche . . .	0,4964	0,0592	0,4116	0,0129	0,0197
Birke . . .	0,5020	0,0620	0,4162	0,0115	0,0081
Espe . . .	0,4937	0,0621	0,4160	0,0096	0,0186
Weide . .	0,4996	0,0596	0,3956	0,0096	0,0337

Schwache Zweige welche Reißig bilden.

Rothbuche .	0,5017	0,0612	0,4038	0,0105	0,0177
Eiche . . .	0,4996	0,0602	0,4110	0,0100	0,0190
Birke . . .	0,5124	0,0622	0,4017	0,0105	0,0132
Espe . . .	0,4950	0,0609	0,4043	0,0100	0,0298
Weide . .	0,5154	0,0626	0,3621	0,0141	0,0457

Diese Zahlen stehen einander sehr nahe, die Durchschnitte sind:

für die Hölzer 0,4970 0,0606 0,4130 0,0105 0,018

für das Reißig 0,5046 0,0614 0,3965 0,0111 0,025

46. Nach den neuerlich von dem Direktor der Pulverfabrik zu Esquerdes, Violette, angestellten Versuchen, haben die Hölzer von verschiedenen Theilen eines und desselben Baumes genommen und bei 80 Grad getrocknet, die folgenden Zusammensetzungen:

		Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauer- und Stickstoff.	Asche.
Blätter		45,015	6,971	40,910	7,118
Schwache Zweige .	Rinde	52,496	7,312	36,737	3,454
	Holz	48,359	6,605	44,730	0,304
Mittlere Zweige . .	Rinde	48,855	6,342	41,121	3,682
	Holz	49,902	6,607	43,356	0,134
Starke Zweige . .	Rinde	46,871	5,570	44,656	2,903
	Holz	48,003	6,472	45,170	0,354
Stamm	Rinde	46,267	5,930	44,755	2,657
	Holz	48,925	6,460	44,319	0,296
Starke Wurzeln . .	Rinde	49,085	6,024	48,761	1,129
	Holz	49,324	6,286	44,108	0,231
Mittlere Wurzeln .	Rinde	50,367	6,069	41,920	1,643
	Holz	47,390	6,259	46,126	0,223
Haarförmige Wurzeln mit Rinde.		45,063	5,036	43,503	5,007

Die bei 100 Grad getrockneten Blätter haben 80 Prozent und die Zweige 45 Prozent verloren.

47. Aus der vorhergehenden Tabelle lassen sich nachstehende Thatsachen ableiten: 1) die Grundbestandtheile des Holzes sind in den verschiedenen Theilen eines und desselben Baumes ungleich vertheilt; 2) die Blätter und die langhaarigen Wurzeln haben fast gleiche Zusammensetzung; 3) das Holz hat in allen Theilen eines und desselben Baumes im Wesentlichen gleiche Zusammensetzung; 4) die Blätter und die äußersten Wurzeln enthalten weniger Kohlenstoff als die Rinde und das Holz; 5) die Blätter und

die äußersten Wurzeln enthalten weit mehr mineralische Stoffe als die übrigen Theile des Baumes, und alle Rinden enthalten davon mehr als das Holz.

48. Die mittlere Zusammensetzung des Holzes von dem mittlern Stamme und von den mittlern Zweigen ist etwas unter der durch die Versuche von Chevandier erlangten; der Unterschied rührt wahrscheinlich daher, daß bei den Versuchreihen die Hölzer in verschiedenen Temperaturen getrocknet worden sind.

49. Wir werden in der Folge als mittleres Resultat der mitgetheilten Analysen annehmen, daß bei 140 wo getrocknetes Holz 0,50 Kohlenstoff, 0,06 Wasserstoff, 0,41 Sauerstoff, 0,01 Stickstoff und 0,02 Asche enthalten; oder 0,50 Kohlenstoff, 0,01 freien Wasserstoff, 0,46 Sauer- und Wasserstoff in dem zur Wasserbildung erforderlichen Verhältniß, 0,01 Stickstoff und 0,02 Asche.

50. Dichtigkeit oder specifisches Gewicht des Holzes. — Die Dichtigkeit des Holzes kann wie die aller porösen Körper auf zweierlei Weise bestimmt werden. Man kann sie unter seinen anscheinenden Volum betrachten und alsdann besteht das einzige Verfahren bei ihrer Bestimmung darin, aus dem Holze ein Prisma zu schneiden, dessen Volum man leicht messen und das Gewicht bestimmen kann; das Verhältniß dieses Gewichts zu dem eines gleichen Volums Wassers wird die gesuchte Dichtigkeit oder das spezifische Gewicht sein. Dasselbe ist nothwendig mit seiner hygrometrischen Beschaffenheit und mit der Gestalt und Lage der Fasern in den gewogenen Stücken verschieden. Die nachstehende von Herrn Brisson entworfene Tabelle giebt das spezifische Gewicht einer gewissen Anzahl von Hölzern an:

Grenadillholz	1,35	Kirschbaum	0,75
Guajakholz, schwarzes . .	1,33	Orangenbaum	0,70
Buchsbaumholz, holländ. .	1,32	Quittenbaum	0,70
Eichenholz, 60jährig, der Splint	1,17	Ulme (Stamm)	0,67
Mispelbaum	0,94	Französ. Wallnußbaum . .	0,67
Oelbaum	0,94	Birnbaum	0,66
Französ. Buchsbaum . .	0,91	Spanische Cypresse . . .	0,64
Spanischer Maulbeerbaum .	0,89	Linde	0,60
Rothbuche	0,85	Hasselnuß	0,60
Esche (Stamm)	0,84	Weidenbaum	0,58
Erle	0,80	Lebensbaum	0,56
Spanischer Eibenbaum . .	0,80	Männliche Tanne	0,55
Apfelbaum	0,79	Weibliche Tanne	0,49
Holländ. Eibenbaum . .	0,78	Pappelbaum	0,38
Pflaumenbaum	0,78	Weißer span. Pappelbaum .	0,32
Ahorn	0,75	Korkeiche	0,24

Nach dem Gesagten können die Zahlen in dieser Tabelle nun als annähernde Werthe angesehen werden.

51. Man kann auch die Dichtigkeit der Holzfaser bestimmen und Violette hat in dieser Beziehung sehr viel Versuche gemacht; das dabei angewendete Verfahren ist folgendes: das Holz wurde mittels einer Raspel in Pulver verwandelt, dann bei 100 Grad getrocknet und in eine mit Wasser angefüllte Flasche gebracht, aus welcher die Luft ausgepumpt

wurde. Das Holz blieb in der Luftleere 6 Tage unter dem Wasser Bezeichnet man nun mit P das Gewicht der mit Wasser angefüllten Flasche vor Einführung des Holzes, P' das Gewicht der ebenfalls mit Wasser angefüllten Flasche am Ende der Operation, mit π das Gewicht des eingebrachten Holzes und endlich durch δ die Dichtigkeit des Holzes, so erhält man offenbar:

$$P' = P + \pi - \frac{\pi}{\delta}; \text{ daher } \delta = \frac{\pi}{\pi \; P - P'}$$

Violette hat auf diese Weise gefunden, daß alle Hölzer genau dasselbe spez. Gewicht hätten und daß dasselbe 1,50 betrage; für Eisenbaum-, Eichen-, Faulbaum- und Pappel-Holz liegen die Extreme zwischen 1,51 und 1,52.

Wenn ein Holz der Einwirkung der Wärme unterworfen wird, so verliert es eine Quantität seines Wassergehaltes, die mit der Temperatur zunimmt. Nach Violette verliert grünes Holz, welches der Temperatur 100 Grad ausgesetzt wird, 45 Prozent von seinem Gewicht. Nach demselben haben Stücke gleicher Dimensionen d. h. Prismen von 0,2 Meter Länge und von 1 Quadrat-Centimeter Basis und von verschiedenen Holzarten, die von Klötzen herkommen, die 2 Jahr lang im Magazin gelegen haben und 2 Stunden lang überhitzten Dämpfen ausgesetzt wurden, folgende Resultate gegeben:

Trocknungs-Temperaturen.	Verlust auf 100 Theile.			
	Eichenholz.	Eschenholz.	Ulmenholz.	Wallnußbaum
125°	15,26	14,78	15,32	15,55
150	17,93	16,19	17,02	17,43
175	32,13	21,22	36,94	21,79
200	35,80	27,51	33,38	41,77
225	44,31	33,38	40,56	36,56

Es nimmt demnach bei jeder Holzart der Verlust mit der Temperatur zu; die Abweichungen, welche die Ulme und der Nußbaum bei 200 Grad zeigen, müssen als Beobachtungsfehler angesehen werden. Bei 200 Grad ist aber das Holz sichtbar verändert, und es beginnt diese Zersetzung wahrscheinlich schon bei einer minder hohen Temperatur. Es können daher die beobachteten Verluste nicht sämmtlich dem hygrometrischen Wasser zugeschrieben werden. Man weiß nicht, welcher Temperatur man das Holz unterwerfen müßte, um ihm, ohne es zu verändern, alles hygrometrische Wasser, welches es enthält, zu entziehen. Man nahm an, daß zur Erreichung dieses Resultates eine Temperatur von 100 Grad hinreichend wäre, allein die Einwirkung der Holzfasern auf das Wasser muß nothwendig die Temperatur, bei welcher sich dasselbe in Dämpfe verwandeln kann, erhöhen.

53. Die grünen Hölzer enthalten sehr ungleiche Wassermengen. Eine direkte Analyse von Kohlholz hat folgende Resultate gegeben:

Hygrometrisches Wasser	0,275
Kohlenstoff	0,375
Sauerstoff und Wasserstoff	0,338
Asche	0,012

Nach Leplay ist die Menge des in den Hölzern enthaltenen hygrometrischen Wassers weit bedeutender. Im Moment des Schlagens beträgt die Wassermenge selten weniger als 0,45; in den Wäldern Mitteleuropas enthalten die während des Winters geschlagenen Hölzer am Ende des Sommers mehr als 0,40 Wasser. Dieses Verhältniß wird oft bis auf 0,33 vermindert, wenn sie in Hütten oder im Haushalt angewendet werden. Endlich enthalten Hölzer, die mehrere Jahre an trockenen Orten aufbewahrt worden sind, noch 0,15 bis 0,20 Wasser. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die relativen Unterschiede der von mehreren Ingenieuren angegebenen hygrometrischen Beschaffenheit der Hölzer daher rühren, daß die Temperatur, welcher die Hölzer ausgesetzt wurden, die Größe der Stücke und die Dauer des Trocknens verschieden waren.

Wenn stark getrocknete oder gedörrte Hölzer unter gewöhnlichen Verhältnissen der Luft ausgesetzt werden, so nehmen sie in den ersten 3 Tagen fast 5 Prozent Wasser auf und sie fahren fort Feuchtigkeit zu absorbiren bis daß sie 14 bis 16 Prozent enthalten, alsdann werden sie sehr hygrometrisch und verlieren oder absorbiren Wasser je nach dem Zustande der Trockenheit oder der Feuchtigkeit der Luft.

55. In Beziehung auf ihre Benutzung als Brennmaterialien zerfallen die Hölzer in 2 Klassen. Die erste derselben umfaßt die harten und dichten Hölzer, welche das bedeutendste spez. Gewicht haben; dahin gehören Eiche, Rothbuche, Ahorn, Esche u. s. w.; die 2. umfaßt die weißen, weichen und leichten Hölzer: dahin gehören die Tanne, die Kiefer, die Birke, die Espe, die Pappel u. s. w.

Man theilt aber auch die Brennmaterialien in frische, geflößte und geschälte. Frisches Holz ist das, welches auf Wagen oder auf Kähnen zu den Verbrauchsorten gebracht wird; die geflößten Hölzer, die auf Flößen fortgeschafften; endlich die geschälten Hölzer sind nichts anderes als entborktes Eichenholz.

56. Feuchte Hölzer geben bei gleichem Gewicht weit weniger Hitze als trocknes: 1) weil das Wasser nicht brennbar ist und keine Wärme entwickeln kann; 2) weil es eine große Menge Wärme absorbirt um sich in Dämpfe zu verwandeln. Es ist daher unter allen Bedingungen unvortheilhaft, feuchtes Holz anzuwenden.

Die Benutzung trocknen Holzes ist so vortheilhaft, daß man sich in mehrern Hütten und Fabriken nicht damit begnügt, das Holz in lufttrocknem Zustand zu verwenden, sondern daß man es auch noch in Oefen trocknet oder dörrt. Es geschieht dies in Puddelhütten, in Glashütten und in Porzellanfabriken.

57. Produkte der Verbrennung. — Die Produkte der vollständigen Verbrennung der Hölzer bestehen nur in Wasserdampf und in Kohlensäure. Wenn aber die Verbrennung unvollständig ist, so entwickelt sich Rauch, der hauptsächlich aus Wasser, Essigsäure, empireumatischem Oel und aus einer theerartigen Substanz besteht; die Essigsäure ist der Grund, daß der Rauch reizend auf die Augen einwirkt.

58. Die Kohlensäure ist ein farb- und geruchloses Gas, welches weit schwerer als die Luft, unverbrennlich und nicht geeignet ist, die Verbrennung zu unterhalten. Während der Verbrennung erhebt sie sich, wegen der hohen Temperatur die sie besitzt, in die Atmosphäre.

59. Heizkraft oder Wärmeeffekt der Hölzer. — Da alle Hölzer im Wesentlichen dieselbe chemische Zusammensetzung haben, so müssen sie auch auf gleichem Grade des Trocknens durch ihre vollständige Verbrennung dieselbe Wärmemenge erzeugen. Es ist dies eine Thatsache, die übrigens aus dem von Berthier angestellten direkten Versuchen hervorgeht.

60. Da das bei 140 Grad getrocknete Holz 0,50 Kohlenstoff und 0,01 freien Wasserstoff enthält, so würde es nach den oben angenommenen Grundsätzen als Wärmeeffekt $0{,}50 \times 8080 + 0{,}01 \times 34{,}462 = 4384$ haben.

61. Rumford und nach ihm Hassenfratz haben sich mit der Bestimmung durch die Verbrennung verschiedener Holzarten hervorgebrachter Wärmemengen beschäftigt.

Der erstere bediente sich dabei des bereits weiter oben (22) beschriebenen Apparates, Hassenfratz des Glascalorimeters. Die Versuche wurden mit gleichen Gewichtsmengen Holz von verschiedenen Graden der Trockenheit angestellt.

62. Rumford, der Holz von verschiedener Beschaffenheit, das vorher auf einem Ofen getrocknet worden war, benutzte, hat für dessen Heizkräfte Zahlen erlangt, die von 3960 bis 3450 schwanken und für das gewöhnliche Brennholz hat er 2550 gefunden. Aus den Versuchen von Hassenfratz kann man keine positiven Folgerungen machen, weil er den hygrometrischen Zustand der Hölzer, mit denen er experimentirte, nicht angegeben hat. Die von ihm erlangten Resultate bestehen darin, daß 1 Kilogr. Holz 42—49 Kilogr. Eis schmelzen kann und da nun 1 Kilogr. schmelzendes Eis 79 Wärmeeinheiten absorbirt, so sind die äußersten Grenzen der beobachteten Wärmeeffekte $32 \times 79 = 2528$, und $49 \times 79 = 3871$, Zahlen, die sich denen vom Grafen Rumford erhaltenen sehr nähern.

63. Diese Versuche geben weit geringere Resultate als die aus der Zusammensetzung der Hölzer berechneten, allein sie wurden in einem sehr kleinen Maßstabe angestellt, und es erleidet gar keinen Zweifel, daß die in einem kleinen Raum bei sehr niedriger Temperatur verbrannten Hölzer nicht viel brennbare Gase entwickelt haben. Außerdem haben die von Rumford bei getrockneten Hölzern beobachteten Wärmeeffekte um fast 15 Prozent geschwankt, und man kann daher das Mittel aus diesen Versuchen nur als eine sehr weitläufige Annäherung annehmen.

Die nach einem großen Maßstabe einerseits in den alten Bädern von Pont-Marie, andrerseits zu Wesserling im Elsaß ausgeführten Versuche haben weit annäherndere Resultate des Wärmeeffektes an den aus der Zusammensetzung berechneten ergeben. Es wurden diese Versuche nicht in der Absicht angestellt, den Wärmeeffekt oder die Heizkraft der Hölzer zu bestimmen, allein sie haben zu derselben geführt.

64. Zu Pont-Marie war der Heizapparat derart eingerichtet, daß der Rauch mit einer wenig von dem der Luft wenig verschiedenen Temperatur entwich. Bei einem mit großer Sorgfalt angestellten Versuch hat man in 2 Stun-

den fast 200 Kilogrm. geschältes Holz verbrannt. Der erlangte Effekt bestand in der Erwärmung von 7180 Kilogr. Wasser auf 85 Grad. Man hat daher 7180 × 85 = 610,300 Wärmeeinheiten gesammelt, so daß auf jedes Kilogr. etwa 3000 kommen. Der hygrometrische Zustand des Holzes wurde freilich nicht bestimmt, allein man kann annehmen, daß der Wassergehalt 0,25 betrug und es würde alsdann der Wärmeeffekt des trocknen Holzes 4000 sein.

65. Zu Wesserling hat man in einem mit Holz gefeuerten Dampfkessel, als mehrtägigen Versuchsdurchschnitt 3,24 Kilogr. Dampf auf das Kilogr. Holz erhalten; der Rauch hatte bei seinem Eintritt in die Esse eine Temperatur von 250 Grad und enthielt noch 10 Prozent Sauerstoff, so daß daher nur die Hälfte des Sauerstoffs der Luft zur Verbrennung angewendet worden war. Es besteht demnach der Wärmeeffekt des Holzes aus: 1) der Wärmemenge, die in dem produzirten Dampf enthalten und die = 3,24 × 650 = 2106 ist; 2) aus der von dem Rauch mit fortgeführten Wärmemenge. Nun beträgt aber die zur Verbrennung von 1 Kilogr. Holz erforderliche Gewichtsmenge Luft 8,50 Kilogr., unter der Voraussetzung, daß die Hälfte der Luft der Verbrennung entgangen ist. Uebrigens ist die Wärmekapacität der Luft fast gleich $\frac{1}{4}$ von der des Wassers. Die durch den Rauch mit fortgeführte Wärmemenge hat 8,50 × 250 × $\frac{1}{4}$ = 532 gegeben. Es besteht ferner 3) der Wärmeeffekt des Holzes aus der durch die Verdampfung des Wassers im Holze absorbirten Wärmemenge, die = 650 : 4 = 162 ist. Es wird demnach der aus diesem Versuch reduzirte Wärmeeffekt des Holzes sein, 2106 + 532 + 162 = 2800.

Nimmt man, wie vorhergehend an, daß das Holz 0,25 Wasser enthielt, so würde der Wärmeeffekt des trocknen Holzes 3730 sein; oder bei 0,30 Wassergehalt 4000.

Diese letztern Versuche gewähren, ohnerachtet der relativen Unsicherheit über die hygrometrische Beschaffenheit des benutzten Holzes die Ueberzeugung, daß der Wärmeeffekt des vollständig getrockneten Holzes den die Versuche angeben, ganz genügend mit den aus der Zusammensetzung hervorgehenden übereinstimmt.

66. Da der Wärmeeffekt des Holzes von seinem hygrometrischen Zustande abhängt, und da dieser in sehr ausgedehnten Grenzen verschieden sein kann, selbst unter scheinbar wenig verschiedenartigen Umständen, so kann man den Wärmeeffekt des zu benutzenden Holzes nur dann genauer kennen lernen, nachdem vorher durch Versuche sein Wassergehalt genauer bestimmt ist. Wenn das Trocknen bei 100 Grad gemacht werden könnte, so wird es hinreichend sein, eine gewisse Gewichtsmenge Holz im Zustande von Sägespähnen zu nehmen, dieselben in einer Schale im Sandbade zu trocknen und den Holzstoff, nachdem er keine Dämpfe mehr entwickelte, zu wiegen. Allein bei diesem Verfahren behält das Holz in Folge der Affinität der Fasern stets noch eine gewisse Wassermenge zurück. Wirklich wird das Holz bei 150 Grad noch nicht verändert und nach den Versuchen von Violette (52), findet von 125—150 Grad ein Verlust von 0,0267 statt, und sehr wahrscheinlich würde er von 100—125 Grad noch größer sein. Um demnach das Holz vollständig zu trocknen, müßte man es bis auf 150 Grad erwärmen und dies hat einige Schwierigkeiten. Man würde diese Temperatur nur schwer mit Salzlösungen erreichen; außerdem müßten

dieselben fortwährend mit Wasser gespeist werden, um dieselbe Temperatur zu erhalten. Die direkte Dampfheizung würde einen Druck von 4—5 Atmosphären erfordern. Die Benutzung von überhitztem Dampf würde andere Schwierigkeiten darbieten, um die Temperatur zu reguliren.

Das einfachste Heizverfahren bei kleinen Versuchen besteht in der Anwendung einer gewöhnlichen Lampe. Die aus dem Cylinder ausströmende verbrannte Luft hat fast 300 Grad, und der Luftstrom, der diese Temperatur behält, hat einen sich stets vermindernden Querschnitt; wenn man daher in dem warmen Luftstrom einen senkrechten an beiden Enden offenen Cylinder anbringt, so würde die mittlere Temperatur der ihn durchströmenden Luft um so geringer sein, je größer die Höhe ist, in welcher der Cylinder angebracht. Um aber diese Vorrichtung für den vorliegenden Zweck benutzen zu können, müßte die den Cylinder durchströmende warme Luft derart vermischt werden, um eine gemeinschaftliche Temperatur anzunehmen. Der in Fig. 2 abgebildete Apparat entspricht den fraglichen Bedingungen. Der Cylinder besteht aus Blech und ist 0,10 Meter hoch und weit; im Innern ist er mit mehreren Scheidern versehen, durch welche der warme Luftstrom genöthigt wird, sowohl am Umfange als in der Mitte aufwärts zu steigen. Am untern Theile ist der Cylinder mit 2 abgestumpften Kegeln versehen, die eine entgegengesetzte Richtung haben und am obern Ende mit einer vertieften Fläche und mit der Blechkapsel, in welcher man das zu trocknende Pulver legt. Diese Schale hat in der Mitte eine Röhre, durch welche eine Thermometer-Röhre geht. Der Apparat wird durch zwei Stangen getragen, welche mittels Stellschrauben eine Regulirung der zweckmäßigen Höhe gestatten.

67. Resumirt man das Vorhergehende, so läßt sich das Folgende annehmen:

1) Daß alle Holzarten von gleichem Grade der Trockenheit im Wesentlichen dieselbe Wärmemenge hervorbringen.

2) Daß bei auf künstlichem Wege vollkommen getrocknetem Holze der Wärmeeffekt oder die Heizkraft ungefähr 4000 ist.

3) Daß bei Holz im Zustande gewöhnlicher Trockenheit, d. h. bei einem Gehalt von 0,25 bis 0,30 Wasser, der Wärmeeffekt zwischen 3000 und 2800 schwankt.

Bei der Bestimmung des Wärmeeffekts der Hölzer müßte man genau genommen die zur Verdampfung des hygrometrischen Wassers angewendete Wärme abziehen, eine Wärme, die nicht ersetzt wird, wenigstens, wenn der Rauch mit einer höhern Temperatur als 100 Grad entweicht, wie es gewöhnlich der Fall ist. Da sich aber die Anzahl der zu diesem Zweck angewendeten Wärmeeinheiten nur auf 159 bis 191 erhebt, so hat es keine Nachtheile, sie unberücksichtigt zu lassen.

68. Was nun den Wärmeeffekt der dem Volum nach gemessenen Hölzer betrifft, so kann man keine irgend genaue Zahl angeben, vorausgesetzt, daß das Gewicht eines und desselben Holzvolums nicht allein nach seiner Dichtigkeit, sondern mehr noch mit der Stärke der Scheite, nach ihren Krümmungen und der Art und Weise, wie sie aufgeklaftert sind, verschieden ist.

69. Das in Frankreich unter der Benennung „Voie" bekannte Holzmaß umfaßt 2 Kubikmeter oder 2 Stèren (etwa 65 rheinländ. Kubikfuß).

Die Länge der Scheite ist etwa 1,14 Meter und die Höhe einer Stère ist 0,88 und die Länge 1 Meter. Das Gewicht der Voie beträgt beim Feuerholz 700 bis 750 Kilogr. und beim Kohlholz 600 bis 700 Kilogr.

In Deutschland sind die Holzmaaße sehr verschieden, jedoch wollen wir hier die Gewichte von 1 hannöverschen Kubikfuß der gewöhnlichsten Hölzer nach den Bestimmungen von Karmarsch (mechan. Technologie, 3. Aufl. Bd. I. S. 602) mittheilen:

Ahorn	34	Zollpfd.	Föhre oder Kiefer	29	Zollpfd.
Birke	33	=	Lärche	26	=
Rothbuche . . .	36	=	Weißtanne . . .	30	=
Eiche	39	=	Ulme	31	=
Erle	27	=	Weide	24	=
Rothtanne oder Fichte	21	=	Weiß= oder Hainbuche	38	=

Wenn die Scheite rund sind, gleichen Durchmesser und gleiche Länge haben, so sind die Zwischenräume ziemlich regelmäßig, und man kann die feste Holzmasse ziemlich constant zu 0,78 von dem Volum der Klafter annehmen. Nehmen wir ein rechteckiges Parallelepiped an, dessen Länge gleich der der Scheite ist und dessen auf der Länge senkrecht stehender Durchschnitt gleich der Einheit der Oberfläche ist und bezeichnet man nun mit n die Anzahl der Scheite, welche die Einheit der Länge einnehmen, so wird der Durchmesser eines jeden $\frac{1}{n}$ sein, ihr Halbmesser $\frac{1}{nn}$, ihr Querschnitt $\frac{\pi}{4n}2$; und da die Anzahl der Scheite $= n\,2$ ist, so folgt daraus, daß die wirkliche feste Holzmasse $= \frac{1.\,\pi}{4} = 1.\ 0{,}78$ ist, das scheinbare Volum, d. h. die Holzmasse mit den Zwischenräumen = 1 angenommen. Bei solchen Verhältnissen müssen aber die Scheite, wie schon bemerkt, gehörig rund und stark sein, so daß man die Zahl 0,78 als eine äußerste Grenze, die niemals erreicht wird, ansehen muß.

Der Bearbeiter fügt hinzu, daß nach der Annahme deutscher Forstleute die Klafter Scheitholz nicht mehr wie 70, die Klafter Prügel oder starkes Stockholz 60 und die Klafter gewöhnliches Stockholz nur 50 solide Holzmasse enthält.

70. Die Verbrennung verschiedener Holzarten. — Obgleich die Hölzer im Zustande vollkommener, bei gleichen Gewichtsmengen wenig verschiedene Wärmemengen zu entwickeln im Stande sind, so veranlaßt doch ihre Struktur bei der Art und Weise der Verbrennung Verschiedenheiten, so daß sie nicht allen Anforderungen genügen.

Dichte Hölzer brennen nur an ihrer Oberfläche; die sich ins Innere fortpflanzende Wärme entwickelt die brennbaren Gase, welche anfänglich nicht vollständig brennen und es bleibt bald nur eine voluminöse, dichte Kohle zurück, die sich langsam, ohne Flamme entwickelt. Leichte, d. h. Hölzer von geringer Dichtigkeit verbrennen weit schneller, da ihre Porosität ein leichteres Eindringen der Luft gestattet und da sie durch die Einwirkung der Wärme zerrissen werden. Da der größte Theil ihres Kohlenstoffgehalts zu gleicher Zeit mit den brennbaren Gasen verbrennt, so hinterlassen sie nur wenig Kohle; auch geben diese Hölzer fast während ihrer

ganzen Verbrennung Flamme. Der Unterschied zwischen beiden Holzarten vermindert sich in dem Maß, als die zu verbrennenden Stücken kleiner sind, wovon der Grund sehr augenscheinlich ist.

Nach dem Obigen sieht man leicht ein, warum in den Glashütten, den Porzellanöfen und selbst in den gewöhnlichen Töpferöfen, wo man eine sehr hohe Temperatur, so wie eine lange und ununterbrochene Flamme nöthig hat, man stets weiches Holz gebraucht, während man zu fast allen übrigen Verwendungen, wo man eine weit geringere Temperatur und an einem dem Herde nähern Ort nöthig hat, harte Hölzer den Vorzug verdienen.

Sei übrigens das Holz, welches man benutzt, welches es wolle, so wird der Wärmeeffekt um so größer sein, je getheilter das Holz ist, weil alsdann eine geringere Luftmenge der Einwirkung des Brennmaterials entgehen wird; und da die Luft stets mit einer höhern Temperatur als die der Atmosphäre ist, entweichen muß, so wird man leicht begreifen, daß, je geringer die zur Verbrennung angewendete Luftmenge in Beziehung auf dieselbe Materialmenge sein wird, um so geringer auch der Wärmeverlust durch die ausströmende Luft sein muß. Außer den Kosten, welche das Spalten des Holzes macht, so gestattet es auch oft die Beschaffenheit der vorzunehmenden Arbeit nicht, zu kleines Holz anzuwenden, da die Verbrennung zu rasch sein würde. Die rasche Verbrennung ist aber nur in wenigen Fabriken, wohin die Glas- und Porzellan-Fabriken zu zählen sind, vortheilhaft; hier ist stets eine sehr hohe Temperatur erforderlich und dann ist es nöthig, gespaltenes Holz anzuwenden.

Viertes Kapitel.

Die Holzkohle.

71. Die Holzkohle ist eine Substanz, die man dadurch erhält, wenn man das Holz unter gewissen Bedingungen einer mehr oder weniger hohen Temperatur, die aber 340 Grad stets übersteigt, aussetzt. Bis 150 Grad erleidet das Holz nur eine einfache Trocknung, wobei es nur seinen Gehalt an hygrometrischen Wasser abgiebt; in einer weit höhern Temperatur aber zersetzt es sich und giebt einen festen Rückstand, der reicher an Kohlenstoff ist als das Holz und das Verhältniß des Kohlenstoffs ist um so bedeutender, je höher die Temperatur war. Die bei der Verkohlung der Hölzer entstehenden Erscheinungen sind sehr verwickelt, sie sind neuerlich mit großer Sorgfalt von Violette untersucht worden, aus dessen Arbeiten darüber hier das Wichtigste mitgetheilt wird.

72. Die ersten Versuche wurden mit dem Faulbaumholz angestellt, welches zu kleinen Stäbchen von 0,6 Meter Länge und 0,01 Meter Durchmesser zerschnitten und von denen etwa 20 Stück vereinigt wurden, die zusammen 130 bis 140 Grammen wogen. Diese Bündel wurden getrennt in einer Temperatur von 150 Grad getrocknet, indem man einen Strom überhitzten Wasserdampfes hindurch gehen ließ. Eine 2stündige Behand-

lung mit diesem Dampf war zu dem vollständigen Trocknen hinreichend; denn bei einer längern Einwirkung des Dampfes veränderte sich das Gewicht des Holzes nicht mehr. Auch die Kohlung wurde mit überhitztem Dampf bewirkt, wenigstens in einer Temperatur von 350 Grad. Die Temperatur wurde mittels eines Quecksilberthermometers gemessen. Die Verkohlung in höhern Temperaturen wurde in Tiegeln bewirkt, die in einen guten Calcinirofen gestellt wurden, dessen Feuerung man mit Kokes und Holzkohlen bewirkte. Um die hervorgebrachte Temperatur annähernd kennen zu lernen, hatte man in verschiedenen Holzstäbchen kleine Stücke von der Größe eines Stecknadelkopfes von folgenden Metallen angebracht: Antimon, Kupfer, Silber, Gold, Stahl, Stabeisen, Platin. Das Metall wurde in eine kleine Vertiefung am Ende der Stäbchen gebracht und mit einer fest eingedrückten Lage von Holzkohlenstaub bedeckt. Indem man nun die Temperatur des Ofens steigerte, konnte man durch Versuche nur zum Schmelzen des ersten oder der beiden ersten oder der drei ersten und endlich aller gelangen. Es ist klar, daß die erhaltene Temperatur zwischen der des Schmelzpunktes von dem letzten geschmolzenen und der des folgenden Metalles begriffen war. Violette nimmt durch Annäherung an, daß die Verkohlungstemperatur diejenige des Schmelzpunktes von dem letzten geschmolzenen Metalle ist. Die Schmelzpunkte sind die von Herrn Pouillet bestimmten. Da die Erfahrung gezeigt hat, daß die Aussetzung der Hölzer einer gewissen Temperatur, 3 Stunden lang zur Entwicklung aller in dieser Temperatur entweichenden Substanzen hinreichend war, so wurden alle Verkohlungsversuche während einer Zeit von 3 Stunden unternommen.

73. Die in Beziehung auf das Ausbringen erlangten Resultate waren folgende:

Temperaturen, denen das bei 150 Grad getrocknete Holz unterworfen wurde.	Menge der Produkte, die aus 100 Theilen trockenem Holzes erlangt sind.	Bemerkungen.
150 Grad	100,00	Diese Produkte sind nichts anderes, als mehr und mehr verändertes Holz, die man aber nicht Kohlen, sondern Brände nennen muß.
160 „	198,00	
170 „	94,55	
180 „	88,59	
190 „	81,99	
200 „	77,10	
210 „	73,14	
220 „	67,50	
230 „	55,37	
240 „	50,79	
250 „	49,67	
260 „	40,23	
270 „	37,14	
280 „	36,16	Sehr rothe Kohle, welche anfängt, zerreiblich zu werden.
290 „	34,09	
300 „	33,61	
310 „	32,87	
320 „	32,23	
330 „	31,77	
340 „	31,53	Sehr schwarze Kohle.
350 „	29,26	

Temperaturen, denen das bei 150 Grad getrocknete Holz unterworfen wurde.		Menge der Produkte, die aus 100 Theilen trockenem Holzes erlangt sind.	Bemerkungen.
Schmelzung des Antimons	432 Grad	18,87	Schwarze und sehr harte Kohlen.
„ „ Silbers	1023 „	18,75	
„ „ Kupfers	1100 „	18,40	
„ „ Goldes	1250 „	17,94	
„ „ Stahls	1300 „	17,46	
„ „ Stabeisens	1500 „	17,31	
„ „ Platins	1500 „	15,00	

Die Rothkohle entsteht daher zwischen 280 und 340 Grad; darüber hinaus ist die Kohle schwarz und das Ausbringen vermindert sich fortwährend mit der Temperaturzunahme.

74. Außer der Temperatur hat aber auch ein anderer Umstand einen großen Einfluß auf das Ausbringen, nämlich die größere oder geringere Lebhaftigkeit der Verkohlung, die aus der größern oder geringern Leichtigkeit, mit der sich die produzirten Gase entwickeln können, hervorgeht.

Violette hat durch eine langsame Verkohlung ein 2mal größeres Produkt erhalten als bei einer beschleunigten Verkohlung in derselben Temperatur.

75. Die Zusammensetzung der bei den erwähnten Versuchen, jedoch in weiter von einander entfernten Temperaturen erlangten Kohlen ist die folgende:

Mittlere Zusammensetzung der Faulbaumkohle, die bei steigender Temperatur dargestellt worden ist.

Verkohlungstemperatur.	Elementarsubstanzen, die in 100 Th. Kohle gefunden worden sind.			
	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff, Stickstoff und Verlust.	Asche.
150 °	47,5105	6,1200	46,2900	0,0800
200	51,8170	3,9945	43,9760	0,2265
250	65,5875	4,8100	28,9670	0,6320
300	73,2360	4,2540	21,9620	0,5690
350	76,6440	4,1360	18,4415	0,6130
432	81,6435	1,9610	15,2455	1,1625
1023	81,9745	2,2975	14,1485	1,5975
1100	83,2925	1,7020	13,7935	1,2245
1250	88,1385	1,4150	9,2595	1,1990
1300	90,8110	1,5835	6,4895	1,1515
1500	94,5660	0,7395	3,8405	0,6640
Schmelzung des Platins.	96,5170	0,6215	0,9360	1,9455

Man ersieht aus dieser Tabelle, daß die Menge des in den Kohlen enthaltenen Kohlenstoffs sich in dem Maß vermehrt, je höher die Verkohlungs-Temperatur ist, daß man aber auch in der höchsten hervorzubringenden Temperatur niemals reine Kohle darstellen kann, selbst wenn man die Asche unberücksichtigt läßt.

76. Berechnet man nun nach dem Ausbringen des Holzes auf Kohle und der Zusammensetzung der Kohle in verschiedenen Temperaturen, so findet man die folgenden Resultate für die Menge der 100 Th. Kohle entsprechenden Kohlenstoff.

Bei 150 ⁰	47,51	1023 ⁰	15,30
200	39,88	1100	15,32
250	32,98	1250	15,80
300	24,61	1300	15,85
350	22,42	1500	16,36
432	15,40	Schmelzung des Platins	14,47

Es folgt daraus, daß der Verlust an Kohlenstoff von der Temperatur von 432 Grad aufwärts, ja wahrscheinlich bei einer noch niedrigern Temperatur, die jedoch höher als 350 Grad ist, fast konstant bleibt. Von dieser Temperatur ab rührt die Verminderung des Ausbringens einzig und allein von der Verminderung der in den Kohlen enthaltenen Gase her. Die kleinen Abweichungen, welche man bei dem Kohlenstoffgehalt findet, rühren sicher von den, bei so feinen Versuchen unvermeidlichen Irrungen her.

77. Aus der Analyse zweier Kohlen, von denen die eine bei einer langsamen, die andre bei einer schnellen Verkohlung erlangt wurden, geht hervor, daß diese letztere weniger Kohlenstoff als die erstere enthält. Es hat daher eine schnelle Verkohlung ein weit geringeres Ausbringen und ein an Kohlenstoff minder reiches Produkt.

78. Violette hat auch den Fall untersucht, bei welchem das Holz der Wärmeeinwirkung in genau verschlossenen Gefäßen, aus denen sich kein Gas entwickeln konnte, untersucht. Das Holz wurde in eine Röhre von dickem Glas derart eingeschlossen, daß es fast den ganzen innern Raum ausfüllte, und die vor der Glasbläserlampe verschlossen wurde. Bei jedem Versuch brachte man 4 solche verschlossene Röhren, eine jede in eine Metallröhre, damit das Zerspringen von einer derselben nicht auch das der andern bewirken konnte. Die Verkohlung wurde mit überhitztem Dampf ausgeführt. Die unzersprengt gebliebenen Röhren waren durchsichtig und ließen das verkohlte Holz und 1 Kubik-Centimeter von einer entweder durchsichtigen und etwas ambraartigen Flüssigkeit sehen, oder sie zeigten häufiger eine weiße milchartige und undurchsichtige Flüssigkeit. Die Oeffnung der Röhren, in denen die Gase eine ungeheure Spannung hatten, veranlaßte viele Schwierigkeiten. Wenn man die Spitze, in welche die Röhre ausgezogen worden war, und die man vorher mit einer dicken Leinwandhülle umgeben hatte, zerbrach, so entstand eine heftige Explosion, durch welche sowohl die Röhre, als auch die Kohle in Pulver verwandelt wurden. Nach vielen vergeblichen Versuchen fand Violette ein Mittel, welches ihm vollkommen gelang; es besteht darin, das verdünnte Ende der Röhre in die Flamme einer Spiritus-Lampe zu tauchen; das Glas wurde weich und endigte damit, sich in einer unbemerkbaren Ritze zu öffnen, durch welche mit pfeifendem Ton ein Gasstrom entweichen konnte, wodurch sich die innere Spannung nach und nach verminderte. Auf diese Weise konnte Violette die produzirte Kohle, so wie auch die Flüssigkeit sammeln; das Gewicht des entwickelten Gases wurde offenbar durch das Gewicht des um das der Kohle und der Flüssigkeit verminderte Gewicht des Holzes dargestellt.

79. Es folgt aus den Versuchen, die von 10 zu 10 Grad von 160 bis 340 Grad stets mittels überhitzten Dampfes gemacht worden sind, daß das Gewicht der erlangten Kohle sich auf eine fast gleichförmige Weise von 0,974 bis 0,791 verändert hat. In offenen Gefäßen schwankt sie dagegen bei gleichen Temperaturen von 0,97 bis 0,29. Es ist daher das feste Produkt der Verkohlung in verschlossenen Gefäßen weit bedeutender als das in offenen erlangte.

80. Die bei 180 Grad dargestellte Kohle ist sehr roth, sehr zerreiblich und ähnlich der, welche man in offenen Gefäßen bei 280 Grad dargestellt hat; allein sie ist in Beziehung ihrer Zusammensetzung verschieden, indem sie sich nur wenig von der des Holzes entfernt.

81. Die bei 300 Grad und darüber erzeugte Kohle hat eine wirkliche Schmelzung erlitten, denn sie ist zusammengesunken und hängt stark an dem Glase fest; sie ist glänzend, spiegelig, blasig, hart, spröde und gänzlich fetter, geschmolzener Steinkohle ähnlich.

Eine ebenfalls bemerkenswerthe Thatsache ist die, daß die in den Temperaturen von 260 bis 340 Grad erzeugten Kohlen 3 bis 4 Prozent Asche enthalten, während die in offenen Gefäßen in denselben Temperaturen erzeugten Kohlen nur ½ Prozent Asche enthalten. Dies eigenthümliche Resultat läßt sich nur unter der Annahme erklären, daß die Gase, indem sie sich entwickeln, einen großen Theil der in dem Holz enthaltenen mineralischen Substanzen mit sich nehmen.

82. Violette hat mit großer Sorgfalt die Menge der aus verschiedenen Hölzern dargestellten Kohle bestimmt; die Hölzer waren vorher bei 150 Grad getrocknet und wurden alsdann mittels überhitzter Dämpfe, in einer Temperatur von 300 Grad in offenen Gefäßen verkohlt. Die nachstehende Tabelle enthält die Versuchsresultate von einer gewissen Anzahl von Hölzern. Die mitgetheilten Zahlen sind Prozente von dem getrockneten Holze.

Korkholz . . .	62,80	Apfelbaum . .	34,69
Faules Weidenholz .	52,17	Ulme . . .	34,59
Getreidestroh . .	46,99	Hagebuche . . .	34,44
Eichenholz . .	46,09	Erle	34,40
Eiben- oder Taxusholz .	46,06	Birke . . .	34,17
Rothbuche . . .	44,25	Pflaumenbaum . .	34,06
Meeres-Kiefer . .	41,18	Ahorn . . .	33,75
Pappel (Blätter) .	40,95	Weide . . .	33,74
Pappel (Wurzeln) .	40,90	Faulbaum . . .	33,61
Gewöhnliche Kiefer .	40,75	Esche . . .	33,28
Lärche . . .	40,31	Birnbaum . . .	31,88
Kastanie . . .	36,06	Linde . . .	31,85
Kirschbaum . .	35,53	Pappel (Stamm) . .	31,12
Espe . . .	34,87	Zahme Kastanie . .	30,86

83. Aus alle dem vorhergehend Gesagten lassen sich folgende Thatsachen ableiten:

1) Das in verschiedenen Temperaturen verkohlte Holz giebt ein Ausbringen, welches in dem Maß der Temperatur-Steigerung abnimmt. Bei Faulbaumholz, welches vorher bis zu 150 Grad getrocknet ist, beträgt

das Ausbringen bei 250 Grad 0,50, bei 300 Grad 0,33, bei 400 Grad 0,20, und in den höchsten hervorzubringenden Temperaturen 0,15.

2) Das Holz giebt eine um so größere Kohlenmenge, je langsamer die Verkohlung bewirkt, d. h. je mehr Schwierigkeiten die Gase bei ihrer Entwickelung finden.

3) Der in dem Holz vorhandene Kohlenstoff zerfällt bei der Verkohlung in 2 Theile: der eine bleibt in dem festen Produkt des Prozesses zurück, während der andere mit den flüchtigen Substanzen entweicht. Diese Theilung ist mit der Verkohlungs=Temperatur bei dem Faulbaumholz verschieden: bei 250 Grad ist die Menge des in der Kohle zurückbleibenden Kohlenstoffs = $\frac{4}{5}$ von dem ganzen Gewicht; zwischen 300 und 350 Grad beträgt sie die Hälfte; über 15,000 Grad hinaus beträgt sie nicht mehr als $\frac{1}{3}$.

4) Die Menge des in der Kohle vorhandenen Kohlenstoffs nimmt mit der Verkohlungs=Temperatur zu. Bei dem Faulbaumholz hat man bei 250 Grad 0,64, bei 300 Grad 0,73, bei 400 Grad 0,80 und bis 15,000 Grad 0,96 gefunden. Bei demselben Holz aber beträgt die Menge des in der Kohle vorhandenen Kohlenstoffs von einer Temperatur von 350 bis 412 Grad ausgehend sehr konstant fast 0,15 von dem Gewicht des trocknen Holzes, so daß die Verminderung des Ausbringens nur auf Rechnung des Gewichts der von der Kohle eingeschlossenen Gase kommt. Es ist nicht zu bezweifeln, daß dieser Umstand nicht auch für die andern Holzarten vorhanden sein sollte, jedoch bei verschiedenen Temperaturen.

5) Die Kohle enthält stets Gase, selbst in der höchsten Temperatur, die wir hervorzubringen vermögen, haben sie nie vollständig fortgeschafft werden können. Diese Gasmenge beträgt für Faulbaumholz bei 250 Grad 0,50, bei 300 Grad 0,33, bei 350 Grad 0,25, bei 400 Grad 0,05 und bei 1500 Grad 0,01.

6) Das in gänzlich verschlossenen Gefäßen verkohlte Holz hält im festen Zustande fast allen Kohlenstoffgehalt zurück. Bei dem Faulbaumholz beträgt der in der Kohle enthaltene Kohlenstoff von 160—340 Grad fast das 3fache von dem gewöhnlichen Ausbringen.

7) Bei der Verkohlung in offenen Gefäßen erhält man aus dem Faulbaumholz bis zu 270 Grad nur Rothkohle und nur ein Ausbringen von 0,40 Grad, während in verschlossenen Gefäßen sich das Holz in Rothkohle mit einem Ausbringen von 0,90 bei 180 Grad umwandelt.

8) In verschlossenen Gefäßen erleidet das Holz in einer Temperatur von 300—400 Grad eine wirkliche Schmelzung. Es behält keine Spur von Organisation bei und gleicht geschmolzener Fettkohle.

9) Die in verschlossenen Gefäßen dargestellten Kohlen geben weit mehr Asche, als die in offenen Gefäßen erlangten; es wird daher bei den gewöhnlichen Verkohlungsmethoden ein Theil der Mineralsubstanzen von den sich entwickelten Gasmengen mit weggenommen.

10) Endlich geben die unter derselben Temperatur von 150 Grad verschiedenen getrockneten Hölzer in gleicher Temperatur von 300 Grad verkohlt ein sehr verschiedenes Ausbringen. Es ist wahrscheinlich, daß bei einer höhern Temperatur das Ausbringen an einen Kohlenstoff konstant bleibt wie bei dem Faulbaumholz.

94. Verschiedene Arten der Holz-Verkohlung. — Die Meiler-Verkohlung, die bereits in den ältesten Zeiten angewendet wurde, findet noch fortwährend eine sehr allgemeine Benutzung.

Man beginnt damit, in der Nähe des geschlagenen Holzes, einen festen, ebenen und horizontalen Punkt zur Aufführung des Meilers auszuwählen, und wenn solche Kohlenstellen von Natur nicht vorhanden sind, so richtet man sie vor. — Größere Meiler sind im Allgemeinen den kleinen vorzuziehen, weil sie bei gleicher Sorgfalt der Behandlung und gleicher Güte des Holzes, ein größeres Ausbringen gewähren. Zu den großen Meilern zählt man diejenigen, welche bis gegen 100 Kubik-Meter oder 300 Kubikfuß Raum einnehmen, während die kleinern nur die Hälfte oder $\frac{1}{3}$ von der Größe einnehmen. In Mittel-Deutschland, in Sachsen, am Harz, in Schlesien und am Rhein haben sich 3 schichtige Meiler von 1500 bis 2000 Kubikfuß als die zweckmäßigsten erwiesen.

Die Kohlstätten müssen die möglichst vortheilhafteste Lage in Beziehung auf die Holzschläge haben, damit das Holz nicht weit transportirt zu werden braucht; es müssen die zur Verkohlung nöthigen Materialien, als: Wasser, Rasen, Erde, Reißig u. s. w. nahe und in hinreichender Menge zu haben sein; der Meiler muß gegen Wind und Wetter geschützt, und der Boden der Kohlstätte muß weder zu feucht noch trocken und locker sein. Hin und wieder richtet man gemauerte Kohlenstätten vor, bei denen man auch einen Theil der flüssigen Produkte sammeln kann, jedoch ist dies bei der Waldverkohlung nur unter besondern Umständen zweckmäßig und vortheilhaft. Da die meisten Kohlenstätten veränderlich sind und in einem großen Hau oft 10 Stätten genommen werden müssen, so beschränkt man sich darauf, den ausgewählten Platz zunächst von Rasen, Steinen und Wurzeln zu reinigen und zu ebnen, und wenn er feucht oder sumpfig ist, einen sogenannten Rost, d. h. eine Unterlage von Holz oder eine fußhohe Schicht von Erde oder Kohlenlösche vorzurichten. Auch giebt man der Stätte nach der Mitte zu ein geringes Ansteigen um den Abfluß der verdichteten Flüssigkeiten zu befördern.

Auf der hergestellten Meilerstätte erfolgt nun das Richten des Meilers oder das regelmäßige Aufschichten der Scheite. Zunächst werden um den Mittelpunkt der Stätte die Quandelpfähle in den Boden befestigt und durch Holzspreizen aus einander gehalten. Um diese Quandelpfähle wird das Holz in concentrischen Reihen aufgestellt und zwar so, daß die einzelnen Scheite von jenen etwas abfallen. Die Brände von der vorhergehenden Verkohlung werden unmittelbar am Quandel aufgestellt, damit das Feuer daselbst rasch um sich greift. Die stärksten Hölzer bilden die untere Schicht und auf diese kommt eine zweite und nicht immer eine dritte, je nach der Größe, die der Meiler erhalten soll. Der oberste kuppelförmige Theil des Meilers, Haube oder Kopf genannt, wird aus horizontalliegenden Scheiten, oder auch aus Astholz gebildet, um dem Ganzen die gehörige Rundung zu geben. Nach dem Richten des Meilers folgt das Decken, wozu zunächst Rasen, Moos, Laub und dergl. genommen wird, worauf die Erddecke folgt. Größere Meiler müssen zum Festhalten der Erddecke eine sogenannte Rüstung erhalten, welche aus einer Umfassung des Meilers von dünnen Aesten besteht, die in hölzernen Gabeln ruhen. Die Rüstungen gewähren außer einer Unterstützung der Decke

noch den beim Anzünden sich entwickelnden Dämpfen einen Ausweg nach unten.

Ist der Meiler gedeckt, so erfolgt das Anzünden desselben entweder durch den Quandel, oder durch die sogenannte Zündgasse am Fuß. Nachdem die Anzündung erfolgt ist, muß man suchen, das Feuer ganz gleichmäßig nach allen Seiten vom Kopf bis zum Fuß zu leiten, ohne daß im Meiler selbst ein wirkliches Verbrennen vom Holz besteht, alles Holz aber verkohlt wird. Die Leitung des Feuers vom Kopf nach dem Fuß wird bewirkt durch Herstellung besonderer Rauch= oder Raumlöcher, die man mit einer Stange durch die Decke stößt. Ein regelmäßiger Verlauf der Verkohlung erfolgt dann, wenn man ein gleichförmiges Zusammensinken des Meilers bemerkt. Erfolgt hingegen ein ungleichförmiges Schwinden, so muß die Decke auf der Seite, welche am meisten niedersinkt, verstärkt, werden, damit die sich entwickelnden Dämpfe abziehen und die Luft Zutritt erlangen kann, öffnet man zunächst die Fußräume und dann auf der halben Höhe des Meilers die Mittelräume. Sobald das Feuer aus den Fußräumen hervortritt, kommt der Meiler zur Gare, worauf man ihn 24 Stunden lang gänzlich mit Erde bedeckt stehen läßt und dann zum Kohlenziehen mittels eiserner Haken schreitet. Die gezogenen, hin und wieder noch glimmenden Kohlen werden am zweckmäßigsten mit Wasser abgelöscht.

Der ganze Verkohlungsprozeß eines Meilers vom Anzünden bis zur Gare und von einem räumlichen Inhalt von 2000 bis 3000 Kubikfuß beansprucht 12 bis 16 Tage.

Die Meilerverkohlung ist in verschiedenen Ländern abweichend. Am meisten werden die hier beschriebenen stehenden Meiler angewendet. Liegende Meiler nennt man solche, bei denen die Holzscheite eine radiale liegende Stellung vom Quandel nach dem Umfange zu haben, wobei man unten 2 Scheite hinter einander weiter oben hin aber nur eine Scheitlänge nimmt, um die kegelförmige Gestalt des Meilers zu veranlassen. Liegende Meiler von runder Form sind nur selten, Haufen häufiger. In Oberschlesien wendet man gemischte, d. h. zum Theil liegende und zum Theil stehende Meiler an und in Steiermark, Kärnthen, Nord=Italien, in Schweden und Rußland ist die Haufen=Verkohlung üblich, wobei die Holzscheite wie bei Aufklafterungen so an einander gelegt werden, daß der Haufen an dem einen Ende höher als an dem andern ist. Ein solcher Haufen wird mit Pfählen, an denen Breter befestigt sind, umgeben, und zwischen diesen Bretern und dem Haufen, sowie auf denselben wird eine Erddecke angebracht.

85. Man erhält bei der Meiler= und Haufenverkohlung je nach der Größe dem Gewicht des Holzes nach 17 bis 18 und bei größern Haufen mehr Prozente und dem Volum nach bei den kleinern 25 bis 30 und bei den größern 30 bis 34 Prozent Kohlen.

Der Bearbeiter bemerkt hierzu noch, daß auf dem Harze stehende Meiler von 4000—6000 Kubikfuß Inhalt folgendes durchschnittliche Ausbringen geben: bei Buchenscheitholz dem Gewicht nach 20—22 Prozent, dem Volum nach 50 bis 54,5 Prozent; bei Fichtenscheitholz dem Gewicht nach 23 bis 25 Prozent, dem Volum nach 60—72,5 Prozent; bei Fichtenstockholz dem Gewicht nach 21—25 Prozent, dem Volum nach 60 bis 65,3

Prozent. Zu 100 hannöv. Kubikfuß Kohlen gehen 2¼ Malter à 80 Kubikfuß Fichtenbaumholz, 2½ Malter Buchenbaumholz, 3 Malter Fichten-Stukenholz und 4 Malter Eichen- und Buchenknüppelholz.

86. Nach dem von dem Bergingenieur Sauvage in den Departements der Ardennen und der Maas erlangten Angaben sind die zur Verkohlung angewendeten Holzarten: 0,25 Rothbuchen und Eichenholz, 0,25 Espen- und Weidenholz und 0,50 Hainbuchenholz. Die Scheite sind 0,84 bis 0,90 Meter lang; sie sind fast senkrecht in den 3schichtigen Meiler aufgestellt. Die Meiler enthalten gewöhnlich 60 bis 90 Stèren (2000 bis 3000° Kubikfuß), deren Verkohlung 7—12 Tage dauert. Das Ausbringen ist das folgende:

In den Ardennen

	Gemischte Hölzer.
Gewicht der Stère Holz	300 Kilogrm.
1 Stère giebt dem Volum nach	0,30 bis 0,33 Kubikmeter.
1 Stère giebt dem Gewicht nach	60—66 Kilogr.
100 Kilogr. Holz geben ein Ausbringen von . .	20—22 Kilogr.
Das Gewicht des Kubikmeters Kohlen ist	200 Kilogr.

Im Maaß-Departement.

	Harte Hölzer.
Gewicht einer Stère Holz	375 Kilogrm.
1 Stère giebt dem Volum nach	0,33 bis 0,40 Kubikmet.
1 Stère giebt dem Gewicht nach	80 Kilogr.
100 Kilogr. Holz geben	21 Kilogrm.
Das Gewicht des Kubikmeters Kohle ist	240.

87. Ebelmen hat bei einer Vergleichung der Zusammensetzung der Gase, welche aus den Räumlöchern der Meiler entweichen, mit denen, welche durch die Verkohlung in verschlossenen Gefäßen hervorgebracht werden, gefunden:

1) daß der Sauerstoff der in dem Meiler durch die Räumlöcher einströmenden Luft sich vollständig in Kohlensäure verwandelt, ohne mit Kohlenoxydgas vermengt zu sein;

2) daß diese Verwandlung auf der schon gebildeten Kohle erfolgt und nicht in den Produkten der Destillation;

3) daß die Verkohlung in den Meilern von oben nach unten und von der Mitte nach der Peripherie bewirkt wird. Die Trennungsoberfläche zwischen der gebildeten Kohle und dem unvollständig verkohlten Holze ist die eines umgekehrten Kegels, der dieselbe Achse wie der Meiler hat, dessen Scheitelwinkel aber stets in dem Maß zunimmt, als sich die Verkohlung dem Fuß nähert. Die Luft strömt durch das nicht verkohlte Holz, da sie nicht durch die dicht auf einander liegenden Kohlen strömen kann. Auch lassen die neuen Räumlöcher ausschließlich Gase ausströmen und die darüber befindlichen verschließen sich von selbst.

88. Ebelmen hat den Verkohlungsprozeß verändert und sagt darüber Folgendes: die zu Audincout eingeführten Veränderungen sind nur wenig von denen verschieden, die von andern Schriftstellern über den Gegenstand, namentlich von Karsten angedeutet sind. Sie bestehen darin, den Quandelschacht wegzulassen und das Anzünden des Meilers mittels einer von unten gefeuerten Blechplatte zu bewirken. Man bringt zu dem

Ende in der Mitte der Kohlstätte einen konischen Raum an, der an der obern Basis 1,33 Meter, an der untern 0,50 Meter Durchmesser, und der 0,50 Meter Höhe hat. Die Wände bestehen aus Ziegelstein. Von dem Boden dieses Kessels gehen 3 Kanäle von Ziegelsteinen und von 0,12 Meter Weite aus und endigen außerhalb der Kohlstätte. Der Kessel ist mit Holzspähnen und Bränden ausgefüllt und mit einer Blechplatte bedeckt. Die Kohlstätte hat 9 Meter Durchmesser und auf derselben richtet man den Meiler mit 3 Schichten von Holzscheiten von 0,67 Meter Länge. Auf die erste Schicht bringt man eine dicke Schicht von Erde und Kohlenlösche und setzt alsdann den Meiler wie gewöhnlich auf, indem man dahin sieht, daß zwischen den Scheiten möglichst kleine Zwischenräume bleiben und das jeder Scheit in der diametralen Ebene steht, welche durch die Achse des Meilers geht. Man bringt Feuer an das in dem Kessel enthaltene Brennmaterial, läßt den obern Theil des Meilers unbedeckt und öffnet die Fußräume. Die auf die erste Holzschicht gebrachte Lösche dient zur Erweiterung des Raumes in welcher die Verbrennung beginnt, um darauf in der ganzen Holzmasse verbreitet zu werden. Wenn der Meiler im gehörigen Brande ist, so verschließt man die 3 mit dem Kessel in Verbindung stehenden Oeffnungen, giebt dem Meiler die Decke und führt die Kohlung wie gewöhnlich, indem man von oben nach unten zu Räumlöcher stößt. Ein aus 28 bis 35 Stèren Holz bestehender Meiler kohlt 4—5 Tage. Man hat nämlich gefunden, daß es vortheilhafter sei, kleinere Meiler als solche von 150 bis 180 Stèren, d. h. 5 bis 6000 Kubikfußen, aus denen die ältern Meiler zu Audincout bestanden und welche 12 bis 14 Tage bis zur Gare verlangten, zu verkohlen. Die Holzscheite hatten eine Länge von 1,33 Meter. Die erlangten Resultate waren folgende:

	Meiler bestehend aus	Länge der Scheite	Erhaltenes Volum aus 100 Theilen Holz
Aelteres Verfahren	150 bis 180 Stèren.	1,33 Met.	36,52.
Dieselbe Methode	28 „ 35 „	1,67 „	39,55.
Verfahren mit Kessel	28 „ 35 „	0,67 „	43,73.

Die Anwendung der Kessel ist daher vortheilhaft und obgleich dies auch der Fall bei Meilern ist, die aus 50 oder 60 Kubikmetern oder Stèren bestehen, so gestatten doch die erwähnten kleinern Meiler einen leichtern Vertrieb der Verkohlung. Es lassen sich aber diese künstlichen Kohlstätten nur dann anwenden, wenn die Kohlung an bestimmten Orten und nicht an verschiedenen Punkten in den Kohlhauen ausgeführt wird, weil die Vorrichtung der Kessel nicht unbedeutende Kosten veranlaßt.

Man kennt aber noch ein einfacheres und eben so vortheilhaftes Verfahren beim Anstecken der Meiler als das eben erwähnte mit Kesseln.

Im Quandel des Meilers befinden sich 2 concentrische Essen von Blech und es ist der ringförmige Raum zwischen beiden bis zur Höhe der ersten Schicht d. h. auf 0,70 Meter mit Kohlenlösche angefüllt. Das Anstecken des Meilers erfolgt durch die innere Esse und es wird übrigens der Betrieb wie gewöhnlich geführt. Bei einem Meiler von 50 bis 60 Stèren gebraucht man nur 10 bis 12 Hektoliter Lösche.

Man kann einen großen Theil der Holzsäure dadurch sammeln, daß man weißblecherne Röhren, die von kaltem Wasser umgeben sind, nach den

Räumlöchern führt. Ein Meiler von 60 Stèren soll fast 1800 Liter Säure geben.

89. Der Amerikaner Marcus Bull erhielt ein besseres Ausbringen dadurch, daß er die Zwischenräume zwischen den Holzscheiten mit Kohlenlösche ausfüllte. Die Steigerung des Ausbringens durch dieses Mittel ist leicht zu begreifen, da die Kohlenlösche, indem sie verglimmt, das Holz gegen die Verbrennung schützt.

90. Die hier beschriebene Meiler-Verkohlung hat das Nachtheilige durch die Einwirkung widriger Winde eine schwierige Leitung zu haben, und daß dabei die Produkte der Holzdestillation verloren gehen. Man hat zwar verschiedene Abänderungen vorgeschlagen, um diese Nachtheile zu vermeiden, allein da dadurch das Ausbringen verringert wurde, so ist man immer wieder zu dem alten Verfahren zurückgekehrt.

91. Um die Destillations-Produkte in größerer Menge aufzufangen und nutzbar zu machen, wendet man Verkohlung in Oefen an, jedoch erhält man dabei stets eine schlechtere Kohle als in Meilern. Der Bearbeiter bemerkt nur, daß man 4 Arten von Verkohlungs-Oefen unterscheiden könne, nämlich: 1) Verkohlungsöfen mit Anwendung von äußerer Hitze; 2) Verkohlungsöfen mit Zutritt von atmosphärischer Luft; 3) Verkohlungsöfen ohne Luftzutritt durch Erhitzung des Holzes mittels glühender eiserner Röhren, und 4) Verkohlungsöfen durch zersetzte glühende Luft. Eine Beschreibung dieser verschiedener Oefen würde uns hier zu weit führen.

In Holzessigfabriken wird die Verkohlung des Holzes in blechernen Kesseln bewirkt, die man mittels eines Krahns von den Oefen abhebt und auch wieder an ihren Platz bringt. Diese Kessel stehen mit dem Verdichtungsapparat mittels einer Röhre in Verbindung und nachdem die Gase abgekühlt und die Dämpfe verdichtet sind, werden sie in den Heerd geführt und verbrannt. Um 100 Theile Holz zu destilliren werden auf dem Heerde 12,5 Theile verbrannt. Die dargestellte Kohle ist von guter Beschaffenheit und das Gewichts-Ausbringen beträgt 28 bis 30 Prozent.

92. Man verbrennt, wie schon bemerkt, bei diesem Verfahren, auf dem Rost die brennbaren Gase, die sich bei der Destillation entwickelt haben, jedoch nachdem davon der Holzessig und der Theer abgeschieden worden sind. Es ist nicht zu zweifeln, daß wenn diese Gase und der Theer warm zu dem Rost gelangten, sie allein die Destillation zu bewirken im Stande sein würden.

93. Die Rothkohle. — Vor einigen Jahren glaubte man, daß es vortheilhaft sei, unvollkommen gekohltes Holz oder sogen. Rothkohle in den Hohöfen zu verbrauchen. Man bewirkte diese theilweise Verkohlung mit der Gichtflamme der Hohöfen, allein da die Transportkosten für das schwerere Holz zu bedeutend waren, so verlegte man die Darstellung der Holzkohle in die Wälder, wo man zu dem Ende einen von Ebelmen angegebenen Apparat vorrichtete. Es hat sich jedoch dies ganze Verfahren in der Praxis nicht bewährt, so daß man es wieder aufgegeben hat.

94. Das beste Verfahren bei der Fabrikation der Rothkohle besteht darin, das Holz in verschlossenen Gefäßen durch überhitzte Dämpfe, die hineingeleitet werden, zu erhitzen; die Temperatur vertheilt sich mit großer Gleichförmigkeit, man hält den Prozeß in dem günstigen Augenblick leicht auf und erhält ein sehr gleichartiges Produkt. Diese von den Herren Thomas und Laurens eingeführte Verkohlungs-Methode würde für

die Hütten zu theuer sein, allein sie ist in Frankreich und in Belgien mit gutem Erfolge zur Darstellung der bei der Pulver-Fabrikation hauptsächlich beim Jagdpulver erforderlichen Rothkohle angewendet.

95. Das Verfahren besteht darin, daß man das Holz in blecherne Gefäße bringt und es der Einwirkung eines Stromes von überhitzten Dämpfen unterwirft, der am obern Theil des Recipienten eintritt und am untern entweicht. Der gesättigte Dampf wird mittels eines gewöhnlichen Kessels dargestellt und dadurch überhitzt, daß man ihn durch eine blecherne oder gußeiserne Schlangenröhre leitet, die von der Flamme eines Heerdes erhitzt wird; der Rauch dieses Heerdes umspült alsdann die Verkohlungsgefäße um ihre Abkühlung zu verhindern. Man erkennt den Grad des Fortschritts von dem Prozesse mittels eines in die Gefäße eingetauchten Thermometers oder besser noch durch den daraus entweichenden Dampf. Violette, Commissar bei einer dieser Pulverfabriken, hat interessante Beobachtungen über die Leistungen und die Produkte dieses Apparates angestellt; die Beschaffenheit dieser letztern ist weit vorzüglicher als die der auf andere Weise zur Pulverfabrikation benutzten Kohle.

96. Eigenschaften der Holzkohle. — Die Holzkohle ist fest, spröde und zerreiblich; sie behält die Struktur des Holzes, aus welchem sie gebrannt ist. Obgleich leicht zu zerpulvern, ist das Pulver doch sehr hart.

97. Die Dichtigkeit oder das spezifische Gewicht der Holzkohle kann, wie das des Holzes, in Beziehung auf sein anscheinendes und auf das Volum ihrer festen Substanz berücksichtigt werden. Das spezifische Gewicht der Kohle in Beziehung auf ihr scheinbares Volum könnte dadurch bestimmt werden, daß man Prismen schnitte, die man wiegt und mißt. Versuche der Art sind nicht gemacht; sie würden auch kein Interesse haben. Von Wichtigkeit ist nur die Kenntniß von dem Gewichte eines Kubikmeters verschiedener Kohlensorten.

Gewicht eines Kubikmeters Holzkohle in Kilogrammen.

Eichen- und Buchenkohle . . .	240	bis	250	Kilogr.
Birkenkohle	220	=	230	=
Fichtenkohle	200	=	210	=

98. Violette hat auf dieselbe Weise, die er zur Bestimmung des spezifischen Gewichts des Holzes angewendet hat, die Dichtigkeit der festen Substanz der Holzkohlen bestimmt. Er hat mit Faulbaumkohle experimentirt, die in verschiedenen Temperaturen dargestellt worden war. Die Kohlen waren bei 100° getrocknet und dann in ein sehr feines Pulver verwandelt worden; dasselbe blieb zehn Tage in der Luftleere. Violette experimentirte mit einer Gramme Kohle und hat aus seinen Versuchen nachstehende Folgerungen gemacht: 1. Bei 150° hat das Holz keine Veränderung erlitten, weil seine Dichtigkeit dieselbe ist als die des bei 100° getrockneten Holzes. 2. Die Dichtigkeit der bei 150 bis 200° producirten Kohle, nimmt von 1,507 bis zu 1,402 ab. 3. Die Dichtigkeit der in höhern Temperaturen als 207° erzeugten Kohle steigt mit der Temperatur, so daß sie bei 1500° = 2,00 wird. Die Dichtigkeit des calcinirten Kienrußes ist 2,300; die des Demantes schwankt von 3,50 bis 3,53.

99. Die Holzkohle ist unschmelzbar. Sie hat auch die Eigenschaft, eine große Anzahl von Gasen zu absorbiren.

100. Die gewöhnlichen Kohlen, welche nur der zu ihrer Darstellung erforderlichen Temperatur ausgesetzt worden, ist zu gleicher Zeit ein schlechter Wärme- und Elektrizitätsleiter und sehr brennbar. Dagegen sind die in der Rothglühhitze erzeugten gute Wärme- und Elektrizitätsleiter und schwer verbrennlich und zwar um so mehr, je mehr sie geglüht worden. Werden die erstern von dem Heerde weggenommen und es wirkt die Luft darauf ein, so fahren sie zu brennen fort, während die andern erlöschen. Diese letztern Eigenschaften sind die natürlichen Folgen von dem Unterschiede der Leitungsfähigkeit.

101. Werden Kohlen von verschiedenen Hölzern gleicher Temperatur ausgesetzt, so sind sie um so bessere Wärme- und Elektricitätsleiter und um so weniger brennbar, je dichter das Holz ist, aus welchem sie dargestellt werden.

Violette hat die Verhältnisse der Wärmeleitungsfähigkeit der Kohle zu bestimmen gesucht; allein das angewendete Verfahren ist zu unsicher, wie er selbst erkannte und daher nur die Reihefolge der Leitbarkeit der Kohlen bestimmen konnte. Nach diesen Versuchen leiten die Holzkohlen die Wärme um so besser, in je höherer Temperatur sie erzeugt worden sind; es folgt auch ferner noch daraus, daß die meisten Kohlen von verschiedenen Hölzern, die in derselben Temperatur erzeugt worden sind, im Wesentlichen gleiches Leitungsvermögen haben.

102. Die der feuchten Luft ausgesetzten Kohlen absorbiren eine gewisse Wärmemenge. Violette hat bei Kohlen die in beifolgenden Temperaturen erzeugt worden waren:

150° 200° 250° 300° 350° 1023° 1250° 1500°

auf 100 Theile folgende Feuchtigkeits-Absorbtionen erlangt:

20,86, 10,02 7,40 7,61 5,89 4,67 4,76 2,204

103. Die Versuche haben länger als drei Monat gedauert und dann erst aufgehört, wenn das Gewicht der Kohlen nicht mehr zunahm. Es folgt aus diesen Versuchen, daß die Kohlen um so weniger hygrometrisch sind, in je höherer Temperatur sie dargestellt worden. Die gewöhnlichen Schwarzkohlen, welche bei einer Temperatur zwischen 250 und 400° dargestellt worden sind, können 5 bis 7 Prozent Wasser absorbiren. Kohlenpulver nimmt mehr auf als Stücke; der Unterschied beträgt 0,3 bis 0,5.

104. Da man nur selten die erforderlichen Vorsichtsmaßregeln anwendet, die Kohlen gegen den Regen zu schützen, so findet man selten welche, die nicht 10 bis 12 Prozent Wasser enthielten. Es folgt daraus der wesentliche Nachtheil, daß während der Verbrennung ein Theil der Wärme ohne Nutzeffekt zur Verdampfung des Wassers verwendet werden muß.

105. Längere Zeit aufbewahrte Kohlen werden zerreiblich und geben beim Transport viel Lösche. Kohlen von weichen und leichten Hölzern zeigen diesen Nachtheil in einem weit höhern Grade, als die von harten und dichten Hölzern. Man schreibt diesen Umstand der Krystallisation der Salze in den Kohlen zu, wodurch eine ähnliche Erscheinung hervorgebracht wird, als durch das Gefrieren gewisser Bausteine.

106. Zum Betriebe der Hohöfen und Frischfeuer bewahrt man die Holzkohlen sechs bis sieben Monate lang auf, wodurch sie sich aber wesentlich verschlechtern. Muß man sie in Haufen, in der Luft aufbewahren, so

schützt man dieselben durch eine leichte Bedachung; allein sie verlieren dadurch sehr an Brauchbarkeit, wenn sie auf diese Weise mehrere Monate lang aufbewahrt werden müssen. Andererseits hat man aber gefunden, daß frisch gebrannte Kohlen minder vortheilhaft sind als solche, die einen oder zwei Monate im Kohlenschuppen gelegen haben.

107. Der Aschengehalt der Holzkohlen läßt sich leicht berechnen, wenn man den der Hölzer und die Menge der Kohlen kennt, welche die verschiedenen Arten von Hölzern geben. Nun ist nach der (45) mitgetheilten Tabelle die mittlere Aschenmenge verschiedener Hölzer fast 0,015; und nimmt man die Zahl 0,20 für die Menge der produzirten Kohlen an, so läßt sich der mittlere Aschengehalt der verschiedenen Kohlenarten auf $0{,}015 \times \frac{100}{20} = 0{,}075$ bestimmen.

Diese Zahl stimmt, wie wir nachweisen können, im Wesentlichen mit den direkten Analysen von den gewöhnlich in den Gewerben benutzten Holzkohlen überein. Von den von Violette erlangten Resultaten weichen sie aber sehr ab; denn die von diesem Chemiker aus dem Faulbaumholz dargestellten Kohlen haben nie mehr als 0,015 Asche enthalten, während dieselbe Zahl nicht mit den Kohlen erlangt ist, die bei 300° aus gewöhnlichen Hölzern dargestellt worden sind. Dieser Unterschied rührt wahrscheinlich daher, daß bei der Violette'schen Verkohlungsmethode weit mehr feste Bestandtheile von den Gasen mit fortgenommen worden waren, als bei der gewöhnlich angewendeten langsamen Verkohlung.

108. Wärmeeffekt. — Die gewöhnlichen verkäuflichen Holzkohlen geben, wenn ihr hygrometischer Wassergehalt entfernt ist, im Wesentlichen dieselbe Wärmemenge. Es ist dies eine durch zahlreiche Versuche und seit langer Zeit bestätigte Thatsache.

109. Der absolute Wärmeeffekt, den die Verbrennung der Kohle gewährt, ist von verschiedenen Physikern verschieden bestimmt worden: von Laplace und Lavoisier nach vorgenommener Correction zu 7226, von Hassenfratz zu 7580, von Clément Désormes zu nur 7050 Wärmeeinheiten.

110. Nach dem Bergingenieur Sauvage besteht die Meilerkohle, die in Hauen selbst dargestellt worden aus:

Kohlenstoff	0,790
Flüchtigen Stoffen .	0,131
Asche	0,079

und der wirkliche Kohlenstoffgehalt würde 0,85 sein. Da aber das Kohlenstoff-Aequivalent mittelst Glätte (25) bestimmt ist und da dies Verfahren voraussetzt, daß die durch Verbrennung des Wasserstoffs entwickelte Wärmemenge gleich der des Kohlenstoffs, multiplicirt mit 3,049, während der wirkliche Faktor 4,307 ist; so muß das Aequivalent des Wasserstoffs im Kohlenstoff $0{,}85 - 0{,}79 = 0{,}06$ durch $\frac{4{,}307}{3{,}049} = 1{,}41$ multiplicirt werden und es wird 0,0846. Das gesammte Aequivalent dieser Holzkohle an Kohlenstoff wird alsdann $0{,}79 + 0{,}0846 = 0{,}8746$, und es ist folglich der Wärmeeffekt $0{,}8746.\ 8080 = 7{,}066$. Hätte man das Aequivalent nur zu 0,85 angenommen, wie es von Sauvage geschehen, so würde der Wärmeeffekt nur gleich sein $0{,}85.\ 8080 = 6838$.

111. Wir nehmen für die Folge an, daß gewöhnliche Holzkohlen, die 6 bis 7 Prozent Wasser und 6 bis 7 Prozent Asche enthalten, einen Wärmeeffekt von 7000 haben.

112. Die relativen Werthe der verschiedenen Kohlen von gleichem Volum und von der Beschaffenheit, in welcher sie gewöhnlich im Handel vorkommen, verhalten sich offenbar wie ihre anscheinenden Dichtigkeiten, d. h. im Verhältniß des Gewichts von demselben Volum.

113. Pariser Kohle. — Man bezeichnet damit ein künstliches Brennmaterial, bestehend aus Holzkohlenpulver, welches durch Theer zusammen verbunden und dann einer hohen Temperatur ausgesetzt ist. Diese erst 1846 von Popelin Ducarre geschaffene Industrie hat eine große Entwicklung erlangt. Die Pariser Kohle kommt in Cylindern von 0,10 Met. Höhe und 0,03 Met. Dicke vor; sie entzündet sich leicht, brennt ohne Flamme und Rauch sehr langsam und bedeckt sich mit einer dicken Aschenlage. Ein gehörig angebranntes Stück fährt in der Luft so lange zu brennen fort, bis daß es ganz verbrannt ist. Wegen des langsamen Verbrennens ist diese Kohle sehr zum Hausbrande geeignet. Sie giebt 20 bis 22 Prozent Asche; folglich ist der Wärmeeffekt geringer als der der gewöhnlichen Holzkohle, die nur 6 bis 7 Prozent hinterläßt.

Es wird diese Kohle aus der Lösche, den Abfällen und Rückständen der Kohlenschoppen auf den Hütten, die im Durchschnitt 0,1 von dem Verbrauch beträgt, bereitet. Auch werden die fast werthlosen Holzabfälle der Haue in kleinen tragbaren Oefen daselbst verkohlt. Die Kohlenlösche und die auf die letztere Weise erhaltenen kleinen Kohlen werden unter Mühlsteinen zerkleinert und dann mit der Hälfte ihres Gewichts Gastheer vermengt. Der Teig gelangt darauf zum Formapparat, wodurch er stark zusammengepreßt wird. Alsdann werden die Kohlencylinder in Oefen erhitzt, die eine solche Einrichtung haben, daß die Verkohlungshitze durch die sich während des Prozesses entwickelnden Gase hervorgebracht wird. Diese Oefen bestehen aus drei länglich viereckigen, über einander liegenden Kästen von Ziegelsteinen und jede Reihe ist von der folgenden durch einen 0,15 bis 0,20 Met. leeren Raum, der die Tiefe und Höhe der Kästen hat, getrennt. Diese Zwischenräume stehen unten mit einem Heerde in Verbindung, den man nur mit Brennmaterial versieht, wenn der Apparat benutzt werden soll. Wenn die Kästen rothglühend sind, so bringt man die geformten Cylinder mittelst einer länglich viereckigen, mit hohen Rändern versehenen Schaufel hinein; die die Seitenflächen der Kästen umspülende äußere Luft verbrennt die aus ihnen ausströmenden Gase und diese Verbrennung unterhält die Temperatur der Oefen. Wenn die Verkohlung beendigt ist, so werden die Kohlencylinder mit derselben Schaufel herausgenommen, mit welcher sie eingetragen sind und in einen Raum gebracht, in welchem sie erkalten müssen. Der Ofen wird auf dieselbe Weise fortgetrieben, bis er einer Reparatur bedarf.

Man hat seit Einführung der Pariser Kohlen viel andere Mittel zur Verbindung des Kohlenkleins vorgeschlagen. Eins von denselben, welches das vortheilhafteste zu sein scheint, besteht darin, den Holzkohlenstaub mit zerpulverten fetten Steinkohlen zu vermengen, mit Hülfe von Wasser einen Teig daraus zu bilden, denselben zu formen und die Cylinder einer so hohen Temperatur zu unterwerfen, daß sie in Kokes verwandelt werden.

Auch Thon hat man zum Zusammenbacken des Kohlenstaubes benutzt. Dieses letztere Verfahren scheint mehr Vortheile als die übrigen zu haben, nur müßte der eingemengte Thon wegen des dadurch veranlaßten hohen Aschengehaltes möglichst gering sein.

Fünftes Kapitel.

Die Lohkuchen.

114. Die benutzte Lohe, die nur aus den holzigen Theilen der Eichenrinde besteht, wird an vielen Orten als Brennmaterial angewendet. Um diese Holztheile benutzen zu können, preßt man sie gewöhnlich noch feucht in Formen von gewöhnlich kreisrunder Gestalt; die geformten kuchenartigen Stücke werden in der freien Luft getrocknet, und an arme Leute als Brennmaterial verkauft. Die Lohkuchen enthalten noch viel Wasser, verbrennen langsam und hinterlassen auch viel Asche. Sie sind für große Städte, wo die übrigen Brennmaterialien im Allgemeinen theuer sind, ein werthvolles Material. Da die Produktion des Gerb-Materials im Allgemeinen wenig bedeutend ist, so würde die Benutzung der Lohkuchen in Fabriken nur eine beschränkte sein können. Es können aber Umstände vorkommen, unter denen dies Brennmaterial vortheilhaft benutzt werden kann, wie man leicht aus den nachstehenden Resultaten ersehen kann.

115. 1250 Kilogrm. Eichenrinde geben 1000 Kilogrm. trockene Lohkuchen, und es wird dieses Quantum zu Paris zu 10 Frcs verkauft und sein Wärmeeffekt ist = 800 Kilogrm. Holz oder = 300 Kilogrm. Steinkohle. 800 Kilogr. Holz kosten aber in Paris fast 39 Frcs. und die 300 Kilogrm. Steinkohlen fast 15 Frcs. Daher verhalten sich die Preise von Lohkuchen, Holz und Steinkohlen bei gleichen entwickelten Wärmemengen, wie 10, 39 und 15.

116. In einer der Pariser Vorstädte wurde eine Dampfmaschine von 12 Pferdekräften, die mit Niederdruck arbeitet, mit getrockneten Lohkuchen gefeuert; sie verbrauchte 16- bis 1700 Kilogr. in 12 Stunden, welches 12 Kilogrm. auf die Pferdekraft und die Stunde ausmacht.

117. Die Rückstände von den Farbehölzern können ebensogut wie die von der Lohe benutzt werden. Nach den von Herrn Pimont angestellten Versuchen, können die Rückstände von den Farbhölzern, wenn sie einige Monate lang in Gruben eine Gährung erleiden, geformt werden; 1000 Steine oder Kuchen deren Gewicht 360 Kilogr. beträgt, kosten etwa 3 Frcs. und leisten etwa soviel als $\frac{2}{7}$ desselben Gewichts Steinkohle.

118. Wir wollen annehmen, daß der Wärmeeffekt der vollkommen trockenen Lohkuchen, die 0,15 Asche hinterlassen, gleich dem von 0,85 des Holzes ist, d. h. = 3400, daß aber der Nutzeffekt der nur lufttrocknen Lohkuchen mit 0,30 Wassergehalt nur 2380 beträgt.

Sechstes Kapitel.

Der Torf.

119. Der Torf ist ein leichtes, schwammiges Brennmaterial von schwärzlich brauner Farbe. Er besteht aus grasartigen Pflanzen, die mit einander verfilzt, oft aber noch erkennbar sind, und deren Zersetzung mehr oder weniger vorgeschritten ist. Aller Torf enthält stets eine gewisse Menge Wasser, Erde und Sand.

120. Die Verbrennungsprodukte des Torfs sind ziemlich verwickelt, weil es sehr schwer hält, sie sämmtlich darzustellen. Sie bestehen aus denselben Elementen als die sich aus der unvollständigen Verbrennung des Holzes entwickelnden. Man findet aber außerdem noch Ammoniak und schweflige Säure.

121. Man unterscheidet verschiedene Arten von Torf, allein es wird gewöhnlich nur eine Sorte als Brennmaterial benutzt und dies ist der Morasttorf. Dieser Torf hat je nach der Tiefe, aus welcher er genommen ist, einen verschiedenartigen Charakter. An der Bodenoberfläche ist der Torf locker und besteht aus Pflanzen, die kaum zersetzt sind; in dem Maß, daß man aber mehr in den Boden eindringt, wird er dichter, schwärzer und die organischen Reste, die ihn bilden, sind veränderter; in den untersten Schichten endlich läßt er keine vegetabilischen Spuren mehr sehen.

Der Morasttorf findet sich, wie auch sein Name andeutet, nur im morastigen und feuchten Boden, welcher die Sohle von größeren oder kleineren Süßwasserseen bildete. Niemals liegt er tief unter der Oberfläche und gewöhnlich ist er nur von einer Erd- oder Sandschicht von $\frac{3}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Fuß bedeckt. Die Torflager erreichen oft eine große Dicke und Mächtigkeit; man kennt solche, die mehr, als 10 Meter mächtig sind, auch ihre Ausdehnung ist häufig eine sehr bedeutende, sie kommen weit häufiger im Norden als im Süden vor.

Der Torf rührt ohne allen Zweifel von Wasserpflanzenresten her, die nach und nach auf der Sohle der Moräste abgesetzt worden sind; da aber nicht alle Moräste Torf enthalten, so muß man nothwendig annehmen, daß die Bildung des Torfes entweder besondere Pflanzengattungen oder nicht überall vorhandene Bodenverhältnisse erfordert. Der Torf wird in länglich viereckigen Stücken von der Größe eines Ziegelsteins gewonnen, wird gewöhnlich bei den Torfstichen selbst getrocknet und enthält wenigstens 30 Prozent Wasser, welches man nicht anders fortschaffen kann, als wenn man ihn sehr bedeutend erhitzt.

122. Der Torf verbrennt langsam und ohne eine hohe Temperatur zu geben, mit einem Rauch von stehendem und unangenehmen Druck. Er wird hauptsächlich zum Hausgebrauch benutzt nnd ist für manche Gegenden, wie die Ostseeländer, die Nordseeländer, für Holland und einige Provinzen Frankreichs ein sehr werthvolles Brennmaterial; außer in der Haus- nnd Landwirthschaft wird er auch häufig zur Dampfkesselfeuerung benutzt. Zum Hohofenbetriebe und zur Puddelofenfeuerung wird er im natürlichen und nur lufttrocknen Zustande nur wenig angewendet und zwar beim

Hohofenbetriebe stets nur in einem gewissen Verhältniß als Zusatz zu den Holzkohlen.

Bei gehöriger Zusammenpressung und dadurch bewirkter starker Trocknung und bei einem Aschengehalt von nur 5 bis 6 Prozent kann der Torf zu vielen hüttenmännischen Zweck, sowie auch zur Lokomotivfeuerung dienen.

Der frischgewonnene Torf ist wie schon bemerkt im Allgemeinen schwammig und enthält mehr oder weniger bedeutende Mengen von Erde. Man hat neuerlich viel Versuche gemacht um diese fremdartigen Gemengtheile abzuscheiden und seine Dichtigkeit zu erhöhen. Zu Montauger bei Corbeil in Frankreich bereitet Challeton den Torf auf folgende Weise zum Verbrauch vor; der gestochene Torf wird auf Kähnen, die in Kanälen des Torfstichs gehen, zu der am Rande des Torfstichs belegenen Fabrik geführt und dort durch eine sogenannte Kasten- oder Paternoster-Kunst, die aus einer Kette mit daran gehängten Kästen besteht, zu einem großen Gefäß emporgehoben, wo er mit vielem Wasser mittels sehr vieler Haken, die an horizontalen Armen einer sich drehenden stehenden Welle angebracht sind, zerrissen wird, und das Product dieser mechanischen Bearbeitung ist ein dünner Brei, der durch eine andere Kastenkunst in einen aus starken Bohlen bestehenden, höhern Kanal gehoben wird. Dieser Kanal führt den Torfbrei in ein Becken, dessen Sohle aus dem mit geflochtenen Strohmatten bedeckten Boden besteht; nach 4 oder 5 Stunden ist der größte Theil des mit dem Torf vermischten Wassers abgelaufen. Die Torfschicht eines jeden Beckens wird alsdann in Steine getheilt, welche man auf die gewöhnliche Weise am Boden trocken läßt. Nachdem dies Trocknen an der freien Luft 4 Monat fortgesetzt worden ist, enthält der Torf noch 0,16 Wasser. Man hat auf diese Weise gegen die Erwartung keinen dichten harten und gleichartigen Torf erhalten können. Diese Eigenschaften würden für die Verbrennung auf Heerden mit starkem Zug sehr wichtig gewesen sein, weil alsdann wenig brennbare Stoffe mit dem Luftstrom fortgerissen sein würden, und eben so wichtig würde dies für die Verkohlung gewesen sein, weil sich alsdann wenig kleine Kohlen bilden und die Kohle sehr dicht sein würde. Der auf diese Weise präparirte Torf enthält nur wenig Erde, indem sich dieselbe wegen ihrer größern Dichtigkeit auf dem Boden der Einrührgefäße absetzt, von welchem sie von Zeit zu Zeit weggenommen wird. Die Triebkraft bei diesen Vorbereitungsarbeiten ist eine Dampfmaschine, deren Kessel mit rohem Torf gefeuert wird.

Im Haspelmoor, zwischen München und Augsburg (Zusatz des Bearbeiters) welcher zu den bedeutendsten Torfmooren Deutschlands gehört, indem die dort angehäuften Torf-Vorräthe auf 160 Millionen Kubikfuß berechnet worden sind, hat neuerlich der bayrische Oberpostrath Exter eine Torfvorbereitungsmethode ausgeführt, welche weit zweckmäßiger als die von dem Franzosen Challeton eingerichtete ist. Mit diesem Torf-Präparat werden jetzt die Lokomotiven auf den südbayrischen Bahnen gefeuert.

Der Torf des Haspelmoors ist locker und filzig. Das Moor wird durch Gräben trocken gelegt, entholzt, von allen Wurzelstücken möglichst gesäubert und dann umgepflügt; durch wiederholtes Eggen, Würfeln und Häufeln wird der Trockenprozeß befördert. Die auf diese Weise hinreichend lufttrocken gewordene Masse wird in große Haufen gebracht und für die

Winterarbeit in Magazine geführt. Der fernere Abbau des Torflagers erfolgt nun von oben nach unten durch Dampfkraft. Mehrere parallele Schienenstränge theilen das Gebiet in mehrere Abbaufelder. Auf den Bahnen werden verschiebbare Dampfmaschinen von 4—6 Pferdekräften aufgestellt und mit dem ausgeschiedenen Wurzelwerk geheizt. Die Maschinen bewegen nach einer oder nach 2 Seiten hin auf dem nächsten Schienenstrang um Rollen gespannte Drahtseile. An diesen werden die besonders konstruirten Torfpflüge befestigt und mehrmals hin und hergezogen. Dieselben kratzen mit etwa 10 oder 12 einen Zoll langen Messer die Torfmasse auf, während das gelockerte Material durch Bretstellungen in 3 Reihen gehäuft wird. Dem Pflügen folgt dann wieder das Eggen, Wenden und Häufeln, und der zerkleinerte, lufttrockne Torf wird nun zum Trocknen- und Preßhause geschafft. Paternoster-Werke heben ihn auf dessen Boden, und hier fällt er in rotirende Drahtsiebe, und die separirten groben Theile werden zur Kesselfeuerung benutzt, während das reine in oben offnen horizontale Halbcylinder fällt, in denen es auf einem langen Wege durch blecherne Spiralen oder Förderschrauben im Trockenraume hin und herbewegt wird, der stets von erhitzter Luft durchströmt ist. Die so getrocknete und noch erwärmte Masse fällt dann durch senkrechte Blechröhren in durch Dampfkraft bewegte Excentrik-Pressen. Dieselben schieben in jeder Minute 48 bis 50 Torfziegel von $9\frac{1}{2}$ Zoll Länge, 3 Zoll Breite und $\frac{3}{4}$ bis 1 Zoll Dicke in eine schräg aufsteigende Blechrinne, aus welcher sie in untergeschobene Förderwagen fallen.

Die Presse vermindert das ursprüngliche Volum auf etwa $\frac{1}{5}$; die Ziegeln zeigen an ihren Seitenrändern glänzende Oberflächen, ungefähr vom Ansehen dichter Pechbraunkohle. Wenn man sie zerbricht, so zeigen sie dagegen eine deutlich schiefrige Textur, veranlaßt durch den einseitigen Druck. Jede dieser fertigen Torfziegeln wiegt 25 bis 40 Lth. Durch die damit bei der Lokomotiv-Feuerung angestellten Versuche, denn über den eigentlichen Betrieb fehlt es dem Bearbeiter bis jetzt an Nachrichten, hat sich ergeben, daß man mit $1\frac{3}{4}$ Kubikfuß von diesem gepreßten Torfe ebensoweit fährt, wie mit 11 Kubikfuß ungepreßtem Torf, nämlich 1 Wegstunde. $1\frac{3}{4}$ Kubikfuß wiegt etwa 106 Pfd., also nur $5\frac{3}{4}$ Pfd. mehr als die Kokes, welche man auf der Bahnstrecke nördlich von Nürnberg anwendet. — Auch zum Hüttenbetriebe wird dieser gepreßte Torf anwendbar sein, wie weitere Versuche zeigen werden.

124. Wärmeeffekt. — Da die Beschaffenheit des Torfes selbst aus einem Moor, sehr verschiedenartig ist, und da die Wasser- und Aschengehalte desselben ebenfalls sehr abweichend sind, so kann man nichts recht positives über die Wärmemenge sagen, welche der Torf bei seiner Verbrennung entwickelt.

Durch die von dem Bergingenieur Garnier im großen Maßstabe angestellten Versuche scheint hervorzugehen, daß der Wärmeeffekt des Torfes etwa die Hälfte von dem der Steinkohle beträgt. Der Torf, mit denen diese Versuche angestellt wurden, ist sehr schwarz, enthält viel Erde, und schwindet beim Trocknen etwa auf $\frac{1}{3}$ des Volums, welches er bei der Gewinnung hatte. Die Versuche wurden bei dem Dampfkessel einer Hochdruckmaschine von 20 Pferdekräften angestellt und Herr Garnier fand, daß zur Hervorbringung desselben Effekts die doppelte Gewichtsmenge gegen Steinkohlen angewendet werden mußte.

125. Der Rasentorf erster Qualität aus den Umgebungen von Essonne in Frankreich scheint dem erwähnten sehr nahe zu stehen, denn nach den angestellten sorgfältigen Untersuchungen hinterläßt er bei der Verbrennung nur 7,41 Asche.

156. Nach den Untersuchungen des Bergingenieurs Sauvage besteht der Torf von Bar in den Ardennen aus: 0,22 Kohlenstoff; 0,67, flüchtigen Stoffe und 0,11 Asche. Da er die Menge des flüchtigen Kohlenstoffs zu 0,16 annimmt, so würde der Kohlenstoffgehalt des getrockneten Torfes 0,38 betragen. Den Wärmeeffekt des vollkommen luftrocknen Torfes nimmt er zu gleich der des Holzes an.

127. Die nachstehende Tabelle enthält die Resultate der von Herrn Regnault über die Zusammensetzung des Torfes angestellten Analysen. Wir haben in dieser Tabelle auch die Wärmeeffekte dieser Brennmaterialien mitgetheilt, wobei angenommen worden ist, daß die produzirte Wärme nur das Resultat der Verbrennung des Kohlenstoffs und des überschüssigen Wasserstoffs sei, und daß, indem man stets 8080 für den Kohlenstoff und 34462 für den Wasserstoff annehmen kann.

Benennung der Brennmaterialien.	Zusammensetzung.				Ueberschüssiger Wasserst.	Wärmeeffekt.
	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.	Asche.		
Torf von Vulcaire bei Abbeville .	57,05	5,63	31,76	5,58	1,69	5191
Torf von Long bei Abbeville . . .	58,09	5,93	31,37	4,61	2,04	5396
Torf vom Champ du feu bei Framont	57,79	6,11	30,97	5,33	2,30	5461

128. Nach dieser Tabelle ist der mittlere Wärmeeffekt des Torfes 5349 und übersteigt daher den des Holzes wesentlich, da er mehr Kohlenstoff und mehr überschüssigen Wasserstoff enthält; er übertrifft sogar die Hälfte von dem Wärmeeffekt der Steinkohle, der im Durchschnitt zu 8000 anzunehmen ist, wie wir bald näher sehen werden. Es muß aber bemerkt werden, daß die Versuche mit vollständig getrocknetem Torf angestellt wurden, während der gewöhnlich benutzte Torf nur lufttrocken ist und einen bedeutenden Wassergehalt hat. Dadurch wird der Wärmeeffekt in dem Maß vermindert, als der Wasser- und Aschegehalt bedeutend ist.

Der Torf aus den großen Torfmooren in den Umgebungen von Laibach in Kärnthen ist braun, dicht und zeigt keine Spur von Pflanzen. Er besteht aus 65,69 Kohlenstoff, 5,60 Wasserstoff, 24,67 Sauerstoff, 2,04 Stickstoff und 2,10 Asche. Diese Zusammensetzung entspricht in Beziehung auf den Wärmeeffekt 65,59 Kohlenstoff und 2,52 freien Wasserstoff und es würde folglich der Wärmeeffekt 5900 sein. Es dürfte demnach der Wärmeeffekt des Torfes in weit ausgedehntern Grenzen schwanken, wie die Versuche von Regnault bewiesen haben, und würde in dem Maß steigen, als die Zersetzung der Pflanzenstoffe fortgerückt sein würde.

129. Nimmt man an, daß der lange Zeit der Luft ausgesetzt gewesene Torf noch 30 Prozent Wasser enthalte, wie mehrseitige Versuche angegeben haben, und nimmt man für den Wärmeeffekt die aus den Regnault'schen Analysen erhaltenen Mittelzahlen an, so würde man als Wärmeeffekt für diese Torfarten fast 3750 finden.

Da aber der wirkliche Werth eines Torfes hauptsächlich von der Menge seines hygrometrischen Wassergehalts, sowie auch von der Aschenmenge, die er hinterläßt, abhängt, so würde man eine weit annähernde Bestimmung von dem Werthe eines Torfes erlangen, wenn man die Zahl 5300 als Wärmeeffekt eines trocknen Torfes, der 0, 0,5 Asche hinterläßt, annimmt, und durch Versuche die Mengen des hygrometrischen Wassers und der Asche bestimmt. Wenn der Torf eine wesentlich verschiedene chemische Zusammensetzung von den Regnaultschen Analysen hat, so müßte die Zahl 5300 durch eine andere, leicht zu berechnende ersetzt werden; für den Torf aus der Umgegend von Laibach würde diese Zahl zu 5900 anzunehmen sein.

130. Es würde für den Torf noch mehr als für das Holz sehr vortheilhaft sein, wenn man den Wassergehalt durch Eintrocknen mittels eines Stromes heißer Luft fast vollständig entfernen könnte. Dieses Trocknen würde um so vortheilhafter sein, wenn er durch die aus den Oefen und Heerden entweichende Wärme bewirkt werden könnte und alsdann nur Arbeitslöhne veranlassen würde. Getrockneter Torf entwickelt weit bedeutendere Hitzgrade und zu Hüttenprozessen ist daher das Trocknen nothwendige Bedingung.

131. Bis jetzt hat man den Torf nur wenig bei großen Gewerbszweigen angewendet, jedoch beschäftigt man sich seit einigen Jahren sehr ernstlich mit der Benutzung der ungeheuren Torflager, die fast über das ganze mittlere und nördliche Europa verbreitet sind. Gewiß sind die Unternehmungen von Challeton und Exter, den Torf einem starken Druck zu unterwerfen und ihn auf diese Weise von dem Wassergehalt mehr oder weniger zu befreien, von wesentlichen Folgen für die Zukunft der Anwendung des Torfes.

Siebentes Kapitel.

Die Torfkohle.

132. Die Torfkohle ist im Allgemeinen sehr porös, sie verbrennt, wegen der Asche, die sich an ihrer Oberfläche sammelt, leicht und sehr langsam; Kohlenstücke, welche von einem Heerde entfernt werden, fahren zu verbrennen fort, bis aller Kohlenstoff verschwunden ist.

Man kann die Torfkohle, wie die Holzkohle durch mehrere verschiedene Prozesse darstellen, d. h. sowohl in offenen, als auch in verschlossenen Gefäßen.

133. Die Torfverkohlung in Meilern, die bei der Holzverkohlung so gewöhnlich ist, hat wesentliche Schwierigkeiten, da der Torf sehr schwin-

det, und daher in den Meilern leere Räume entstehen, welche, sobald Luft hinzutritt, ein bedeutendes Verbrennen des Torfes veranlassen. Außerdem entzündet sich die Torfkohle sehr leicht und man muß den Meiler gänzlich abkühlen lassen, ehe man Kohlen langen kann; endlich erhält man auch viel Lösche. Ohnerachtet dieser Mängel wird die Meilerverkohlung beim Torf noch an manchen Orten im nördlichen Frankreich angewendet.

134. Cylinder von Mauerwerk mit vielen Löchern in horizontalen Reihen, die man nach und nach von oben nach unten hin öffnet, gewähren eine nicht unzweckmäßige Torfverkohlung. Oben wird der Cylinder mit einem blechernen Deckel verschlossen. Um aber die Kohlen herausnehmen zu können, muß die ganze Masse vollständig erkaltet sein.

135. Zu Crouy Meaux wird die Torfverkohlung in einem sehr dünnen Mantel von Mauerwerk bewirkt, der äußerlich durch Gase erhitzt wird, welche darauf auf dem Heerde verbrannt werden. Die Destillations-Producte werden gesammelt. Wenn der Prozeß vollendet ist, so wird die noch glühende Kohle von einem Löschbehälter, der unter dem Ofen angebracht ist, aufgenommen, und kann alsdann unmittelbar einen neuen Prozeß beginnen. Das Cubikmeter Torf von Crouy wiegt 350 Kilogramm; man erhält aus demselben 30 bis 35 Volum-Prozente Kohle, welche 0,65 Kohlenstoff und 0,35 Asche enthält. Die Charge des Ofens beträgt 25 Hektoliter oder 875 Kilogr.; der Prozeß dauert 22 bis 30 Stunden und man verbrennt bei jedem 250 Kilogr. Torf. Man konnte fürchten, daß bei diesem Prozeß die Verkohlung wenigstens anfänglich und für die in der Nähe der Wände erhitzten Theile nicht mit der erforderlichen Schnelligkeit geführt würde, und daß folglich die Kohle in zu kleinen Stücken erhalten würde. Es würde dieser Nachtheil hauptsächlich bei dichtem Torf zu fürchten sein.

136. Moreau hat in der Pariser Gewerbeausstellung im J. 1855 einen tragbaren Torfverkohlungsofen ausgestellt, der von einem sehr bequemen Gebrauch ist und der nach den mitgetheilten Angaben sehr gute Resultate giebt. Der Apparat besteht aus einem blechernen Cylinder von etwa 1,30 Meter Höhe und 1 Meter Durchmesser, an beiden Enden offen, der auf den Boden gestellt wird. Am obern Theile ist er mit einer äußern Rinne versehen, die einen zweiten Cylinder von gleichem Durchmesser und gleicher Höhe aufnimmt, der aber oben verschlossen ist. In der Mitte befindet sich eine 0,12 Meter weite Röhre, die als Esse dient, die bis zum Boden niederreicht und sich etwa 2 Meter über den zweiten Cylinder erhebt. An ihrem untern Theil ist sie mit 4 horizontalen Röhren von 0,05 Meter Durchmesser versehen, die sich bis 0,10 Meter von der Cylinderoberfläche verlängern, und die in der Mitte ihrer Länge, und an der untern Seite mit einer 0,03 Meter weiten Oeffnung versehen sind. Auf dem Deckel des obersten Cylinders befinden sich 2 große Oeffnungen mit Wasserverschluß, die man jedoch mehr oder weniger verschließen kann.

137. Um diesen Apparat zu gebrauchen, beginnt man damit, auf die Sohle die große Röhre aufzustellen, die auf den 4 kleinen horizontalen Röhren steht; man entzündet den Torf rings um die Oeffnungen und zwar so, daß der Rauch durch die große Röhre ausströmt. Alsdann stellt man nach und nach die beiden großen Cylinder auf, indem man die Rinne mit Sand oder Erde ausfüllt und man chargirt alsdann die Cylinder durch die beiden großen Oeffnungen, wodurch auch die äußere Luft ein-

bringt. Die Verbrennung wird durch das Essenregister regulirt; in dem Maß, daß sich das Volum des Torfes vermindert, fügt man frischen hinzu und man hält den Prozeß auf, sobald sich aus der Esse keine brennbaren Dämpfe mehr entwickeln; der Prozeß dauert etwa 18 Stunden. Um die entstandene Kohle abzukühlen, nimmt man die Esse weg, welche über den zweiten Cylinder hinausragt und verschließt die Oeffnung mittels eines hydraulischen Verschlusses; die Abkühlung dauert 5—6 Stunden. Die Cylinder kommen nie in Rothglühhitze und ihre Dauer übersteigt mehrere Jahre.

Der Bearbeiter muß hier noch von einer eigenthümlichen Torfverkohlungs-Methode reden, die seit d. J. 1853 zu Derymullen in Irland in Anwendung steht. Die Oefen bestehen ebenfalls aus Eisenblech und haben die Form einer 4seitigen abgestumpften Pyramide, deren untere Basis 5 Fuß im Quadrat, deren obere 1 Fuß im Quadrat und deren Höhe 4 Fuß beträgt. Dieselbe ruht auf einem schmiedeeisernen Rahmen, welcher sich im Innern etwa 3 Zoll vom Boden entfernt befindet und an welcher eine sich nach unten öffnende Fallthür angebracht ist. Dieser bewegliche Boden liegt in gleicher Ebene mit dem Rahmen und dient als Rost, indem er mit vielen runden Löchern versehen ist. Durch 2 kleine eiserne Räder am untersten Punkte des Ofens kann derselbe auf einem Schienenwege leicht bewegt werden. Es stehen immer 5 solche Oefen auf einem Schienenwege in 1 Fuß tiefen, 30 Fuß langen und 6 Fuß breiten Graben neben einander. Der Boden und die Wände des Grabens bestehen aus wasserdicht zusammengenieteten Eisenblechen. Durch 2 verschließbare Oeffnungen am Boden, welche mit Röhren in Verbindung stehen, kann der Graben mit Wasser gefüllt und dasselbe auch wieder abgelassen werden.

Der Torf wird vor seiner Verkohlung möglichst gut an der Luft und zuletzt bei der aus den Verkohlungsöfen entweichenden Hitze getrocknet; jeder Ofen faßt etwa 6 Ctr. getrockneten Torfes. Die Stücke kommen sehr bald in Brand, durch auf die obere Oeffnung des Ofens gelegte Blechstücke wird der Zug vermindert und regulirt und es werden zur gleichmäßigen Vertheilung der Hitze die Torfstücke auch häufig umgestört. Nach Verlauf von 2 Stunden ist der Torf auf $\frac{1}{3}$ seines frühern Volums reduzirt und man schreitet nun zum Abkühlen, indem man Wasser in die Grube einläßt, bis das Niveau derselben etwa 2 Zoll unter den Böden der Oefen steht. Dadurch wird ein vollständiger Abschluß der Luft vom untern Theil des Ofens bewirkt, da, wie schon erwähnt, die eiserne Umfassung bis 4 Zoll unter dem Boden herabgeht. Nach 2 Stunden sind die Oefen und Kohlen soweit erkaltet, daß man das Wasser abläßt und die Oefen auf den Schienen über eine Vertiefung fährt, in welche sie entleert werden können. Das Ausbringen an Torfkohle beträgt etwa $\frac{1}{3}$ von dem Volum und dem Gewicht des angewendeten Torfes.

138. Die Destillation des Torfes giebt ein Gas, welches mit einem schwachen Licht verbrennt, sowie auch eine ölige Flüssigkeit, welche durch ihre Destillation ein Gas erzeugt, welches 7—8 mal glänzender als das Steinkohlengas ist. Das Gemisch dieser beiden Gase, giebt, wenn es unter denselben Umständen wie das Steinkohlengas verbrannt wird, ein Licht, dessen Leuchtkraft zwischen der von 1,5 bis 3,0 schwankt, während die des Steinkohlengases gleich 1 ist. Unglücklicher Weise enthält

dies Gemisch viel Kohlenoxyd und es würde daher seine Benutzung gefährlich sein.

139. Nach Blavier giebt der Torf von Vesle in verschlossenen Gefäßen destillirt einen Rückstand von dichter Kohle, deren Gewicht 34,7 Prozent von dem des Torfes beträgt. Im Großen hat man 40 bis 41 erhalten. Man kann als ein sich wenig von der Wahrheit entfernendes Resultat annehmen, daß Kohle, die aus gutem Torf dargestellt worden ist, 14 bis 18 Prozent Asche enthält.

140. Nach Sauvage fabrizirt man in den Ardennen Kohle aus dem Torf von Bar, in gemauerten Oefen. Das Product beträgt 44 Prozent und die Kohle besteht aus 0,32 Theilen flüchtigen und brennbaren Stoffen, aus 0,43 Kohlenstoff und aus 0,25 Asche.

141. Die Torfkohle entwickelt bei ihrer Verbrennung dieselben Produkte, die sich bei der der Holzkohle bilden; es haben aber im Allgemeinen die sich entwickelnden Gase einen stechenden und sehr unangenehmen Geruch, welcher wahrscheinlich daher rührt, daß die Torfkohle bei ihrer Darstellung nicht der gehörig hohen Temperatur unterworfen worden ist.

142. Wärmeeffekt. — Da die Torfkohle allen Aschengehalt des Torfs, aus dem sie dargestellt worden ist, konzentrirt und da diese Mengen in verschiedenen Torfarten sehr verschieden sind, so sind die aus dieser Kohle entwickelten Wärmemengen sehr verschiedenartig. Man kann jedoch die Torfkohle als eine solche ansehen, welche den ganzen Wärmeeffekt, der durch reine Kohle hervorgebracht werden würde, wirklich erzeugt. Der Effekt der Torfkohle von Essonne mit 18,2 Prozent Aschegehalt, ist nach wiederholten sorgfältigen Versuchen zu 6610 bestimmt worden.

Achtes Kapitel.

Mineralische Brennmaterialien.

Braunkohlen. — Steinkohlen. — Anthracit.

143. Die verschiedenen bis jetzt untersuchten Brennmaterialien haben einen offenbar vegetabilischen Ursprung. Auch die noch zu untersuchen bleibenden haben wahrscheinlich denselben Ursprung, allein es zeigt sich derselbe nur in gewissen Braunkohlen. Die Steinkohlen und die Anthracite bestehen aus einer gleichartigen Grundmasse, in der man nicht die geringsten Spuren der organischen Struktur erkennen kann; da aber ein ununterbrochener Uebergang aus den Braunkohlen, welche die Struktur der Pflanzen, aus denen sie entstanden sind, zu den Steinkohlen und Anthraciten stattfindet, so darf man nicht an den gemeinschaftlichen Ursprung dieser verschiedenen Substanzen zweifeln.

144. Sei dem nun, wie ihm wolle, so gehört der Torf den neuesten Alluvionen an; darunter in den tertiären Gebirgen kommen Braunkohlen vor, die sich auch noch in den obern Schichten der sekundären Gebirge finden, allein sie verschwinden aus den untern Schichten derselben, welche nur Steinkohlen führen; die sogenannten Uebergangsgebirge endlich umschließen

den Anthracit. Es scheint daher, daß die Bildung des Anthracit bis zur ältesten Epoche zurückgeht, daß die Steinkohle weniger alt und die Braunkohle noch jünger ist.

Wir können weder in die Lagerungsverhältnisse der mineralischen Brennstoffe, noch in deren Gewinnung eingehen, indem wir uns dadurch zu weit von unserm eigentlichen Zweck entfernen würden; wir werden uns dagegen sehr genau mit diesen Brennmaterialien in Beziehung auf ihren Wärmeeffekt beschäftigen.

Die Braunkohlen.

145. Die Braunkohle hat ein sehr verschiedenartiges Ansehen; entweder ist sie braun von Farbe und hat eine holzartige Textur und zuweilen ein erdiges Ansehen; oder sie ist schwarz, von holzartiger Struktur, oder sie bildet eine gleichartige Masse mit muschligem Bruch. Die Braunkohlen unterscheiden sich durch zwei charakteristische Eigenschaften: 1) bestehen sie zum großen Theil aus einer in der Pottasche löslichen Substanz, die früher Ulminsäure genannt wurde; 2) sie geben als Destillationsprodukt eine pulverförmige oder eine Kohle von gleicher Gestalt, wie die destillirte Masse. Diese Charaktere findet man niemals, weder in den Steinkohlen, noch in den Anthraciten vereinigt.

146. Die erdigen Braunkohlen werden als Brennmaterial benutzt; es giebt aber solche, die durch eine wesentlichere Veränderung eine schiefrige Struktur erlangt haben und von Kiesen begleitet werden, so daß man sie zur Alaungewinnung benutzen kann.

147. Die dichten Braunkohlen haben die größte Aehnlichkeit mit den Steinkohlen, so daß sie oft so genannt werden und in vielen Fällen, zu denen keine Fettkohlen erforderlich sind, die Steinkohlen ersetzen können. Dahin gehört z. B. der sogenannte Gagat. Dichte Braunkohlen bilden oft sehr mächtige Lager und geben zu einem bedeutenden Bergbau Veranlassung.

Steinkohlen. — Anthracit.

148. Die Steinkohlen sind stets schwarz, entweder schiefrig oder dicht; sie geben im Verhältniß zu den Erzen zu einem ausgedehnten Bergbau Veranlassung. In Beziehung auf ihr Verhalten im Feuer kann man sie in 5 Klassen theilen:

1) fette Schmiedekohlen. — Diese Steinkohlen haben stets ein schönes Schwarz und ein charakteristisches fettes Aussehen; ihr Staub ist braun; sie erleiden im Feuer eine Art teigiger Schmelzung, und geben sehr blasige, glänzende und für die Hüttenprozesse wenig vortheilhafte Kokes. Verbrennt man diese Kohle auf dem Rost, so giebt sie eine außerordentliche Hitze, allein durch ihre teigige Schmelzung unterbricht sie den Luftstrom, verbrennt den Rost und erfordert von Seiten des Heizers eine große Aufmerksamkeit. In Deutschland nennt man diese Kohlensorte Backkohlen.

2) Fette und harte Steinkohlen. — Diese Kohlensorte unterscheidet sich von der vorhergehenden Sorte durch ihre geringere Schmelzbarkeit; die daraus dargestellten Kokes sind die dichtesten und besten für den Hohofenbetrieb. Sie gehören zu den Sinterkohlen der deutschen Hüttenleute.

3) Fette Kohlen mit langer Flamme. — Diese Kohlen sind minder backend als die vorhergehenden und die Stücke hängen daher nicht

so fest zusammen; zur Flammenfeuerung sind diese Kohlen die besten. Einen ausgezeichneten Ruf in dieser Beziehung hat die sogen. Flénu-Kohle von Mons; die Cannelkohle aus Lancashire gehört auch hierher; es ist die eigentliche Sinterkohle der deutschen Hüttenleute.

4) Trockne Kohlen mit langer Flamme. — Diese Steinkohlen geben kaum zusammengefrittete Kokes; zuweilen haben die Stücke nur eine sehr geringe Adhäsion. Sie werden aber sehr zweckmäßig zur Flammenfeuerung auf Rosten benutzt, geben eine lange Flamme, die jedoch nur kurze Zeit anhält und sie können daher keine so bedeutende Wärme hervorbringen, als die vorhergehenden Steinkohlen. Sie gehören noch zu den Sinterkohlen.

5) Trockene Steinkohlen mit kurzer Flamme. — Diese Kohlensorte hinterläßt einen pulverförmigen Rückstand; sie verbrennen nur schwierig und werden hauptsächlich zum Ziegel- und Kalkbrennen, so wie zum Darren des Malzes und zur Hausfeuerung benutzt. Man nennt sie Sandkohlen.

149. Anthracit. — Der Anthracit verändert sein Ansehen durch die Calcination nur sehr wenig und seine Bruchstücke backen nicht zusammen. Er verbrennt nur schwierig und wird in Europa fast nur zum Ziegel- und Kalkbrennen verwendet; in Wales benutzt man ihn dagegen beim Hohofenbetriebe, und in den vereinigten Staaten von Nordamerika macht man einen ungeheuren Verbrauch zu Haus- und Kesselfeuerung davon.

Wenn die Steinkohlen aus den Gruben gefördert sind, so enthalten sie nur eine geringe Wassermenge, welche nie mehr als 0,02 beträgt; da sie aber während des Transports und an den Orten, wo sie aufbewahrt werden, nur selten gegen Regen geschützt sind, so können sie bedeutende Wassermengen aufnehmen, besonders die sogenannten Staubkohlen.

150. Die Zusammensetzung der Steinkohlen. — Die ersten Analysen von den mineralischen Brennmaterialien wurden von Thomson ausgeführt, allein sie sind sehr unrichtig, weil damals die organische Analyse noch nicht den Grad der Vollkommenheit erreicht hatte, wie jetzt. Später unternahm Karsten eine große Reihe von Steinkohlenanalysen, die freilich richtiger wie die Thomson'schen, aber dennoch nicht absolut richtig sind; die Wasserstoffmenge ist fast stets um die Hälfte zu gering angegeben.

151. Die nachstehende Tabelle giebt die Zusammensetzung der Braun- und Steinkohlen, nach den von Regnault unternommenen Analysen an. Die Steinkohlen wurden vor der Analyse in der Temperatur von 120 Grad vollkommen getrocknet. Die Verluste haben 1,36 bis 1,60 betragen. Die Stickstoffmenge ist in dem Anthracit im Allgemeinen sehr gering, und in andern Brennmaterialien beträgt er 1,5 bis 2. Danach hat man die vereinigten Volumina des Sauer- und des Stickstoffes als das Volum des erstern Gases darstellend, angenommen.

Der Verfasser hat dieser Tabelle die Wärmeeffekte dieser Brennmaterialien hinzugefügt, wobei er angenommen, daß sie aus dem Kohlenstoff- und dem überschüssigen Wasserstoffgehalt hervorgehen und indem die Zahlen 8080 und 34462 als die Wärmeeffekte des Kohlen- und des Wasserstoffes gelten.

Brennmaterialien der Steinkohlenformation.

Bezeichnung der Brennmaterialien.	Orte des Vorkommens.	Specif. Gewicht.	Beschaffenheit der Kokes.	Gewicht der Kokes.	Zusammensetzung. Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauer- und Stickstoff.	Asche.	Ueberschüssiger Wasserstoff.	Wärmeeffekt.
Anthracit	Pensylvanien	1,462	Pulverförmig	84,83	90,45	2,43	2,45	4,67	2,09	8028
	Wales	1,348	Dito	89,72	92,56	3,33	2,53	1,58	2,98	8525
	Mayenne	1,367	Dito	89,96	91,98	3,92	3,16	0,94	3,48	8630
	Rolduc	1,343	Dito	86,96	91,45	4,18	3,12	2,25	3,95	8750
Fette und harte Steinkohlen	Alais (Rochebelle)	1,322	Aufgebläht	76,29	89,27	4,85	4,47	1,41	4,23	8670
	Rive-de-Gier (P. Henry)	1,315	Dito	73,34	87,85	4,90	4,29	2,96	4,30	8580
Fette Schmiedekohlen	Rive-de-Gier, 1	1,298	Sehr aufgebläht	66,72	87,45	5,14	5,63	1,78	4,36	8568
	(Grand'Croix), 2	1,302	Dito	68,36	87,79	4,86	5,91	1,44	4,04	8485
	Newcastle (Richardsohn)	1,280	Dito	" "	87,95	5,24	5,41	1,40	4,49	8651
Fettkohlen mit langer Flamme	Flenu von Mons, 1	1,276	Aufgebläht	" "	84,67	5,29	7,94	2,10	4,18	8281
	2	1,292	Dito	" "	83,87	5,42	7,03	3,68	4,44	8306
	Rive-de-Gier, Cimetière 1	1,288	Dito	67,33	82,04	5,27	9,12	3,57	4,00	8006
	2	1,294	Dito	66,11	84,83	5,61	6,57	2,99	4,69	8470
	Couzon 1	1,298	Dito	61,88	82,58	5,59	9,11	2,72	4,32	8160
	2	1,311	Dito	60,28	81,71	4,99	7,98	5,32	3,88	7939
	Lavaysse	1,284	Dito	52,77	82,12	5,27	7,48	5,13	4,23	8092
	Lancashire, Cannelkohle	1,317	Dito	55,35	83,75	5,66	8,04	2,55	4,54	8331
	Epinac	1,353	Dito	59,97	81,12	5,10	11,25	2,53	3,53	7770
	Commentry	1,319	Dito	63,16	82,72	5,29	11,75	0,24	3,65	7940
Trockne Kohle mit langer Flamme	Blanzy	1,362	Gefrittet	54,72	76,48	5,23	16,01	2,28	3,09	7243

Brennmaterialien der secondären Gebirge.

Bezeichnung der Brennmaterialien.	Orte des Vorkommens.	Specif. Gewicht.	Beschaffenheit der Kokes.	Gewicht der Kokes.	Zusammensetzung. Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauer- und Stickstoff.	Asche.	Ueberschüssiger Wasserstoff.	Wärmeeffekt.
Anthracit	Lamure	1,362	Pulverförmig	89,5	89,77	1,67	3,99	4,57	1,49	7766
Dito	Macot	1,919	Dito	88,9	71,49	0,92	1,12	26,47	0,79	6048
Steinkohle	Obernkirchen	1,279	Sehr aufgebläht	77,8	89,50	4,83	4,67	1,00	4,27	8702
Dito	Céral	1,294	Gefrittet	53,3	75,38	4,74	9,02	1,86	3,66	7351
Dito	Noroy	1,410	Pulverförmig	51,2	63,28	4,35	13,17	19,20	2,77	6067
Gagat	Saint-Girons	1,316	Gefrittet	42,5	72,94	5,45	17,53	4,08	3,35	7047
Dito	Bélertat	1,305	Dito	42,0	75,41	5,79	17,91	0,89	3,64	7947

Brennmaterialien der tertiären Gebirge.

Bezeichnung der Brennmaterialien.	Orte des Vorkommens.	Specif. Gewicht.	Beschaffenheit der Kokes.	Gewicht der Kokes.	Zusammensetzung. Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauer- und Stickstoff.	Asche.	Ueberschüssiger Wasserstoff.	Wärmeeffekt.
Vollkommne Braunkohle	Dax	1,272	Pulverförmig	49,1	70,49	5,59	18,93	4,99	3,32	6839
Dito	Rhonemündungen	1,254	Dito	41,1	63,88	4,58	18,11	13,43	2,41	5991
Dito	Mont-Méfiner	1,351	Dito	48,5	71,71	4,85	21,67	1,77	2,25	6569
Dito	Basses-Alpes	1,276	Dito	49,5	70,02	5,20	21,77	3,01	2,59	6549
Unvollkom. Braunkohle	Griechenland	1,185	Holzkohlenartig	38,9	61,20	5,00	24,78	9,02	2,03	5643
Dito	Cöln	1,100	Holzkohlenartig	36,1	63,29	4,98	26,24	5,49	1,83	5743
Dito	Uznach (Fossiles Holz)	1,167	Holzkohlenartig	" "	56,04	5,70	36,07	2,19	1,38	5003
Braunkohle, in Bitumen übergehend	Ellbogen	1,157	Aufgebläht	27,4	73,79	7,46	13,79	4,96	5,81	7964
Dito	Cuba	1,197	Dito	39,0	75,85	7,25	12,96	3,94	5,70	8092
Asphalt		1,063	Dito	9,0	79,18	9,30	8,72	2,80	8,26	9253

152. Es lassen sich aus dieser Tabelle nachstehende Folgerungen machen: — Bei fetten Schmiedekohlen beträgt die Summe der Sauer- und Wasserstoffmenge fast 11 Prozent und die Mengen des Sauer- und Wasserstoffes sind einander fast gleich.

Bei fetten und harten Kohlen ist die Summe der Sauerstoff- und Wasserstoffmenge fast 9 und der Gewichtsunterschied dieser beiden Gase ist sehr gering.

Bei den Anthraciten geht die Summe dieser beiden Gase auf 5 oder 6 hinab und die relative Wasserstoffmenge vermindert sich.

Bei trocknen Steinkohlen mit langer Flamme steigt die Summe der Sauerstoff- und Wasserstoffmengen auf 16 und das Verhältniß des Sauerstoffs vermindert sich.

Bei den Braunkohlen endlich steigt die Verbindung der Sauerstoff- und Wasserstoffmenge bis auf 25 und zu gleicher Zeit vermindert sich die Wasserstoffmenge.

Es gehen demnach die fetten Steinkohlen zu den fetten nicht flammenden durch eine Verminderung des Sauer- und Wasserstoffes und zu den trocknen, flammenden, so wie zu den Braunkohlen durch eine Vermehrung beider Elemente, die schneller für den Sauerstoff als für den Wasserstoff ist, über. Es rührt demnach die Fähigkeit im Feuer zu erweichen nicht, wie man angenommen hatte, allein von dem Ueberschuß des Wasserstoffs über den Sauerstoff, sondern auch von der absoluten Menge beider Substanzen her. Wie schon gesagt, findet sich eine unendliche Verschiedenheit von Steinkohlen zwischen den Braunkohlen und den fetten Schmiedekohlen einerseits, und andrerseits zwischen diesen letzteren und den trocknen, nicht flammenden Steinkohlen vor.

153. In großen Massen vereinigte Steinkohlen entzünden sich zuweilen von selbst. Diese Erscheinung zeigt sich hauptsächlich, wenn die Kohlen feucht, in pulverförmigem Zustande und sehr kiesig sind. Sie rührt von der Verwandlung des Schwefeleisens durch Einwirkung der Luft und der Feuchtigkeit her, welche Reaktion von einer großen Wärmeentwicklung begleitet ist. Man kann diesem Unfall dadurch zuvorkommen, daß man die Brennmaterialmassen der Luft zugänglich macht, damit keine Wärmeanhäufung statt finden kann.

154. Das Gewicht des Hektoliter Steinkohlen wechselt nach den Orten des Vorkommens folgendermaßen:

Steinkohlen von der Grube Labarthe	88	Kilogr.
„ aus der Auvergne und Blanzy . .	87	„
„ „ „ Grube von Combelle . . .	86	„
„ „ „ „ „ Lataupe . . .	85	„
„ von St. Etienne	84	„
„ „ Decise	83	„
„ „ Mons	80	„
„ „ Creusot	79	„

Diese Zahlen müssen etwas mit der Größe der Stücken, ihrer Ungleichheit, der Art und Weise sie zu messen, so wie der größern oder geringern Feuchtigkeit der Steinkohle schwanken.

Der Bearbeiter fügt hinzu, daß auf der Glückhelf-Grube bei Herms-

dorf in Niederschlesien (Schlesische Wochenschrift, 1859, Nro. 22) neuerlich viele Versuche zur Ermittelung der Steinkohlen-Gewichte angestellt, die in einer Tabelle zusammengestellt worden sind. Das Gewicht eines Preuß. Kubikfußes schwankte von verschiedenen Flötzen und Flötztheilen von 70,67 Zollpfunden, bei 1,14 spezif. Gewicht bis 82,23, bei 1,33 spez. Gewicht.

Es läßt sich aus der Tabelle folgern, daß wenn z. B. ein Kubikfuß lufttrockner Kohle vom zweiten Flotz 77,18 Pfund wiegt ein Stück von $7\frac{1}{9}$ Kubikfuß oder eine Preuß. Tonne vollkommen dicht gefüllter Kohlen 548,4 Pfund wiegen müßte; so wie, daß wenn eine Tonne Stückkohlen von diesem Flötz 367 Pfund schwer ist, das Gefäß nur 66,9 Proc. Kohle enthalten haben kann, und 33,1 Proc. auf leere Räume abgehen. Wiegt ferner eine Tonne gemischter Kohlen 435 Pfund, so ist es mit 78,6 Proc. Kohlen beladen. — Das Mindergewicht der trockneu Kohlen beträgt bei Stückkohlen 35 und bei kleinern Kohlen 46 Pfd.

155. Wenn man ein gewisses Maß mit Steinkohlenstücken von fast gleicher Größe anfüllt, so ist das Gewicht der Volummenge oder des Maßes wesentlich unabhängig von der Größe der Stücke, vorausgesetzt aber, daß ihre Dimensionen im Verhältniß zu denen des Gemäßes gering sind. Diese schon seit langer Zeit bekannte Thatsache erklärt sich auf folgende Weise leicht: wenn man irgend ein Gefäß mit Kugeln von gleichem und zu den Dimensionen des Gefäßes sehr geringen Durchmesser füllt, so ist das Gewicht der Kugeln von ihrem Halbmesser unabhängig. Nehmen wir z. B. an, daß das Gefäß ein Würfel sei, dessen Seiten n mal dem Durchmesser der Kugeln gleich sind, so wird es n^3 Kugeln enthalten und die Summe ihres Volums wird sein $n^3\ ^4/_3.\ \pi.\ r^3$; da aber $r = 1:2$ n, so wird das Volum $^1/_6.\ \pi = 0{,}523$, eine von n unabhängige Zahl; bezeichnet man nun mit d die Dichtigkeit der Substanz, aus welcher die Kugeln bestehen, so ist ihr gesammtes Gewicht 0,523 d.

156. Die Aschenmenge, welche die Steinkohlen auf den Heerden geben, sind viel bedeutender als die von der Analyse angedeuteten, da die Asche in den Aschenfällen stets mit einer gewissen Menge von sogenannten Rostkokes oder Cinders vermengt sind. Die nachstehende Tabelle enthält die in der Tabakfabrik zu Paris erlangten Resultate; man hat bei den Versuchen stets mehr als 600 Kilogr. Steinkohlen angewendet.

Mengen von Asche, Schlacken und Kokesstückchen, die bei dem Verbrennen von Würfelkohlen erlangt worden sind.

Steinkohlen von	Alt-Anzin	0,079
=	= Newcastle (Backkohlen)	0,071
=	= Denain (desgl.)	0,082
=	= Neu-Anzin (desgl.)	0,057
=	= Decise (desgl.)	0,101
=	von den Flötzen Mathon und Buisson	0,095
=	, sogenannte Flenukohle, erste Sorte	0,095

157. Die von derselben Grube kommenden Steinkohlen werden in Stückkohle, Würfelkohle und Kleinkohle unterschieden und diese drei von der

Größe der Stücke bestimmten Sorten werden zu verschiedenen Preisen verkauft. Die kleinen, oder Staubkohlen hatten früher nur einen geringen Werth, da sie sich nur schwierig auf den Rost verbrennen ließen. Man benutzte sie nur zur Kokesfabrikation und zur Anfertigung von gepreßten Steinen, die aus einem Teige von 15 Th. Kohlen und 1 Th. Thon bestehen und zu Hausfeuerung benutzt werden.

Die Staubkohlen von den trocknen Sorten hatten nun erst gar keinen Werth. Die Massen Staubkohlen aller Sorten, die sich nicht verwenden ließen, bildeten auf den Halden der Steinkohlengruben ungeheure Massen. Seit einigen Jahren aber hat sich dieser Zustand der Dinge sehr verändert; man hat verschiedene Verfahrungsarten erfunden, um diese kleinen und Staubkohlen mit einander zu verbinden und länglich viereckige Stücke zu bilden, die sich auf den Feuerrosten wie Stückkohlen verhalten, und die bei gleichem Volum ein weit größeres Gewicht haben als gewöhnliche Steinkohlen, ein besonders für Dampfschiffe sehr vortheilhafter Umstand. Dieses Zusammenpressen des Kohlenkleins wird auf mehrfache Weise bewirkt:

1) man vermengt Staubkohlen in der Wärme mit einer gewissen Menge Steinkohlentheer und dieses Gemenge wird alsdann in Formen gebracht und einem starken Drucke unterworfen; erkaltet haben diese Steine eine große Härte und zerfallen nicht an der Luft. Dieses Verfahren ist bei jeder Beschaffenheit der Steinkohlen anwendbar.

2) Wenn die Staubkohlen fetten oder Backkohlen angehören so füllt man damit gußeiserne verschlossene Formen, aus denen nur Gase entweichen können; diese Formen werden in einen Ofen gebracht und fast bis auf 500 Grad erhitzt und zwar eine halbe bis drei Stunden lang, je nach der Beschaffenheit der Kohlen. Durch Einwirkung der Wärme erleidet die Kohle eine Art von teigiger Schmelzung, sie sucht sich aufzublähen und der Widerstand der Formen drückt sie stark zusammen.

3) Wenn die Staubkohlen trocknen Steinkohlen angehören, so wird ein Verfahren angewendet, bei welchem man sie mit einer gewissen Menge von Backkohlenklein vermischt. Dieses Preßverfahren wird jetzt bei sehr vielen Steinkohlengruben namentlich in Frankreich ausgeführt.

Britannien produzirt die meisten Steinkohlen und dann kommen die vereinigten Staaten, welche weit mehr Lagerstätten aber eine geringere Produktion an Steinkohlen haben. Es kommt dann Preußen, Belgien und Frankreich; die Steinkohlen-Produktion der übrigen Länder ist zu den der genannten von nicht großer Bedeutung, wenn auch einige der deutschen Länder z. B. das Königreich Sachsen eine bedeutende verhältnißmäßige Produktion haben.

159. Der Anthracit. — Der Anthracit ist ein Brennmaterial mit dem Ansehen der Steinkohle, jedoch hat er mehr Glanz und färbt an den Fingern nicht ab; er verbrennt nur schwierig, oder vielmehr nur in einer hohen Temperatur. In den amerik. Freistaaten kommt der Anthracit in sehr mächtigen und sehr ausgedehnten Lagerstätten vor und in Europa findet er sich hauptsächlich in Wales und in Frankreich.

160. Einige französische Anthracitarten, z. B. die von Vicoigne, Fresne und Vieux-Condé, zerspringen in der Hitze und zerfallen in Staub.

Die chemische Zusammensetzung einiger Anthracite ist nach Jacquelin folgende:

	Anthracit von Swansea in Wales.	Anthracit von Sablé im Sarthe-Departement.	Anthracit von Vizille im Isère-Departement.	Anderer Anthracit aus dem Isère-Departem.
Kohlenstoff . .	90,58	87,22	94,09	94 „
Wasserstoff . .	3,60	2,49	1,85	1,49
Stickstoff . . .	0,29	2,31	1,85	0,58
Sauerstoff . .	3,81	1,08	0,31	0,03
Asche	1,72	6,90	1,90	4,00

Alle Anthracite verbrennen ohne Flamme; der von Vizille zerspringt oder zerblättert beim Verbrennen. Pulverförmige trockne Kohlen und Anthracitstaub, sowie auch die durch Einwirkung der Wärme zerspringenden Anthracitsorten haben nur einen geringen Werth, da man sie nur auf den Rosten mit Steinkohlenstücken, oder mit nicht zerspringenden Anthraciten verbrennen kann. Man könnte diesen staubförmigen Anthracit auf eine von den (157) angegebenen Methoden zusammenpressen; man könnte ihn auch im Gemenge mit einem gewissen Verhältniß von Backkohlenklein, verkoken. Dieses letztere Verfahren ist auch mit Anthracitstaub angewendet worden.

161. Wärmeeffekt der Steinkohlen. — Die Tabelle (151) enthält die Wärmeeffekte der Steinkohlen nach ihrer Zusammensetzung berechnet. Die Durchschnittszahl aller der dort aufgeführten Zahlen entfernt sich nicht weit von 8000, welche Zahl einer Steinkohle entspricht, die 0,82 Kohlenstoff, 0,04 Wasserstoff im Ueberschuß, 0,12 Sauerstoff und Wasserstoff in den zur Wasserbildung erforderlichen Verhältnissen und 0,02 Asche enthält. Bei den Braunkohlen entfernt sich die Durchschnittszahl wenig von 6500. Die Zahl 8000 für die Steinkohlen entspricht 12 Kilogrm. Wasser in Dämpfe verwandelt, indem man annimmt, daß die ganze Wärme benutzt worden sei, und daß die Asche keine Rostkokes enthalte.

Wir wollen sehen, ob die im Großen angestellten Versuche diesem Resultat entsprechen.

162. Wenn man ein Brennmaterial in einem Dampfkesselofen verbrennt, so wird ein Theil der Wärme zur Dampferzeugung benutzt, während ein anderer Theil von der verbrannten Luft in die Esse fortgeführt wird und ein letzter Theil durch die freie Oberfläche des Kessels und des Ofens verloren geht. Es ist demnach offenbar, daß zur Berechnung des Wärmeeffektes von einem Brennmaterial, nach der Dampfmenge, die ein Kilogr. von dem Brennmaterial produzirt, man unter anderm auch die Zusammensetzung und Temperatur der in die Esse einströmenden Luft, ferner die freie Oberflächenausdehnung des Kessels und des Ofens, sowie auch die Temperaturen dieser Oberflächen kennen müßte. Das Kalcül würde nur zu Annäherungen führen, da Wasser mechanisch von dem Dampf mit fortgerissen wird und wegen der unvollständigen Verbrennung der in

dem Ofen erzeugten Gase. Bei den Versuchen, über die wir hier berichten, sind alle hier angeführten Umstände unberücksichtigt gelassen; es können demnach auch die Versuche keine vollkommene Genauigkeit beanspruchen. Jedoch führen sie, wie wir gesehen haben, zu sehr annähernden Zahlen, mit denen, welche aus der Zusammensetzung der Steinkohlen abgeleitet worden sind.

163. Bei einem zu Wesserling angestellten Versuch erhielt man 6,27 Kilogr. Dampf durch die Verbrennung von 1 Kilogr. Steinkohle; der Rauch betrug 500 Grad, und enthielt noch 10 bis 12 Sauerstoff. Da man nun in diesem Fall fast 18 Kubikmeter oder 23 Kilogr. Luft zur Verbrennung von 1 Kilogr. Steinkohle bedarf, so würde die Anzahl der von dem Rauch mit weggeführten Wärmeeinheiten betragen $\frac{23 \times 500}{4}$ $= 2875$, welches $\frac{2875}{650} = 4{,}4$ Kilogr. Dampf entsprechen würde. Es folgt daraus, daß, wenn man alle Wärme benutzt hätte, man $6{,}27 \times 4{,}4$ $= 10{,}67$ Kilogr. Dampf producirt haben, welches für den Wärmeeffekt der benutzten Kohle 6935 geben würde. Da nun diese Steinkohle 14 bis 20, oder im Durchschnitt 15 Rückstände gegeben hat, so müßte man der obigen Zahl $^1/_{10}$ hinzufügen, um den mittlern Wärmeeffekt einer Steinkohle zu bezeichnen, welche nicht mehr als 5 Prozent Asche enthält. Es würde dieser Wärmeeffekt daher 7629 sein.

164. Wir theilen hier zwei mit großer Sorgfalt von einer Commission der Pariser Gewerbsgesellschaft angestellte Versuche mit. Sie haben dem Vorhergehenden sehr nahe Resultate gegeben. In einen Dampfkessel von eigenthümlicher Einrichtung mit innerem Heerd und gänzlich der Luft ausgesetzt hat man in 3 Stunden und 50 Minuten 37,37 Kilogr. Steinkohlen verbrannt und hat 297,75 Kilogr. Wasser verdampft. Diesem Produkt muß man zuvörderst die durch Berührung der Luft und durch Ausstrahlung des Kessels verlorene Wärme hinzufügen. Da die Kesseloberfläche 7 Quadratmeter betrug, und wenn man annimmt, daß die auf 1 Quadratmeter und in der Stunde verloren gehende Wärme entsprechende Dampfmenge in 13 Kilogr. bestanden habe, so beträgt das auf 3 Stunden 50 Minuten fast 50 Kilogr., welche man zu der Dampfproduktion von 297,75 Kilogr. hinzufügen muß, so daß 340 Kilogr. herauskommen, welche Zahl 9,55 Kilogr. Dampf auf 1 Kilogr. Steinkohle entspricht. Endlich muß man die durch den Rauch verlorene Wärme nach Dampf bestimmen. Die Temperatur des Rauchs und seine chemische Zusammensetzung hat man nicht untersucht, nimmt man aber, wie es gewöhnlich der Fall ist, an, daß die Hälfte von der Luft verbrannt sei und die Temperatur nur 250 Grad betrage, so würde die entsprechende Dampfmenge für jedes Kilogr. Steinkohle betragen $\frac{23{,}250}{4{,}650} = 2{,}21$.

Es würde demnach der Wärmeeffekt der angewendeten Steinkohlen $(9{,}55 \times 2{,}21) \times 650 = 11{,}76.\ 650 = 7{,}644$.

165. Bei einem andern Versuch, der mit einem Dampfungskessel ebenfalls von Lemare, und auch mit innerem Heerd angestellt worden war, hat man ein erstes Mal 25 Kilogr. Holz und 91,1 Kilogr. Steinkohle verbrannt, um in 5 Stunden 1001 Kilogr. Wasser abzudampfen;

und ein anderes Mal 20 Kilogr. Holz und 98,40 Kilogr. Steinkohlen zur Verdampfung von 1074 Kilogr. Wasser in derselben Zeit verbrannt. Nimmt man nun an, daß 1 Kilogr. Holz gleichen Werth mit 5 Kilogr. Steinkohle habe, so betrug der Steinkohlenverbrauch 103,6 und 108,40 Kilogr. und die von 1 Kilogr. Brennmaterial erzeugten Dämpfe, $\frac{1001}{103,6}$ $= 9,66$, und $\frac{1074}{108,4} = 9,90$. Da die freie Oberfläche des Kessels 27,33 Quadratmeter betrug, so belief sich die verlorene Wärmemenge in Dampf bestimmt in der Stunde auf $732 \times 1,87 = 13,68$. Da man nun bei dem ersten Versuch in der Stunde $\frac{103,6}{5} = 20,72$ Kilogr., und bei dem zweiten $\frac{108,4}{5} = 21,68$ Kilogr. verbraucht hat, so belaufen sich die Dampfmengen auf jedes Kilogr. Steinkohle, die den verlornen Wärmemengen entsprechen, auf $\frac{13,68}{20,72} = 0,66$ für den ersten und $\frac{13,68}{21,68} =$ $0,63$ für die zweite; es betragen daher die Dampfmengen, welche ohne Abkühlung des Kessels hervorgebracht wären, $0,66 \times 0,66 = 10,32$ für den ersten und $9,90 \times 0,63 = 10,53$ für den zweiten Versuch. Endlich muß diesen beiden Zahlen auch die den durch den Rauch verloren gehende entsprechende Dampfmenge hinzugefügt werden. Da nun diese Wärme fast 200 Grad beträgt, so giebt dies $\frac{200.\ 23}{4.\ 650} = 1,8$ Kilogr. Es beträgt demnach der Wärmeeffekt des Brennmaterials von dem ersten Versuch abgeleitet $12,12.\ 650 = 7878$ und der aus dem zweiten Versuch hervorgehenden $12,33.\ 650 = 8014$. Die zu diesen beiden Versuchen angewendete Kohle war Flenu-Kohle von Mons, die man noch außerdem mit großer Sorgfalt ausgewählt hatte.

166. Aus dem Vorhergehenden folgt, daß der Wärmeeffekt der Steinkohlen aus im Großen angestellten Versuchen abgeleitet sehr wenig von denen verschieden ist, welche aus ihrer chemischen Zusammensetzung berechnet worden. Dieser Unterschied ist so gering, als bei solchen feinen Untersuchungen nur möglich ist, und weil dabei, wie schon bemerkt, zwei Ursachen von Irrthümern vorhanden sind, deren Einfluß fast gar nicht bestimmt werden kann: . die mechanisch von dem Dampf mit weggeführte Wassermenge und die der Verbrennung entweichenden Gase.

In der Folge wollen wir die Zahl 8000 für den Wärmeeffekt einer Steinkohle von mittlerer Beschaffenheit, dieselbe Zahl auch für die Anthracite, für die Braunkohlen aber 6500 annehmen.

Neuntes Kapitel.

Von den Kokes.

167. Kokes sind nichts anderes als Steinkohlen, aus denen die flüchtigen Bestandtheile entfernt worden sind; sie bestehen fast nur aus Kohlenstoff und aus den festen Substanzen, welche die Steinkohlen, aus denen sie bereitet, enthielten. Die Kokes verbrennen fast ohne Flammen und sie bleiben auch nur dann glühend, wenn sie in Massen in einem verschlossenen Heerde sich befinden; in freier Luft verlöschen sie. Die geringe Brennbarkeit der Kokes ist eine Folge der hohen Temperatur, in welcher sie entstanden sind; denn nach den Versuchen Violette's ist die Holzkohle um so weniger brennbar, je höher die Temperatur war, in welcher sie bereitet und es erleidet keinen Zweifel, daß dies Verhältniß auch bei den übrigen Kohlen stattfinden muß. Bei der Verbrennung der Kokes entwickeln sich nur Kohlensäure und Kohlenoxydgas.

168. Die Kokes sind eisengrau, haben oft einen metallischen Glanz und bilden entweder poröse und leichte Massen, wie Bimstein, oder nur zusammengefrittete, oder pulverförmige Substanzen. Nur die Kokes der ersteren Art können benutzt werden, und sie rühren von mehr oder weniger fetten Kohlen her. Es können jedoch diejenigen Steinkohlen, welche nur pulverförmige Kokes geben, durch Einmengungen von staubförmigen fetten oder Backkohlen feste Kokes geben.

Man bedient sich zweier sehr verschiedener Prozesse zur Kokesbereitung, nämlich die Destillation und die Verbrennung.

169. Die Destillation wird nur in den Gasfabriken angewendet und der dabei zu erreichende Zweck besteht weniger in dem Gewinn von Kokes, als in dem Gewinn von brennbaren Gasen, welche sich bei der Zersetzung der Kohle entwickeln. Die bei der Destillation der Steinkohlen in Retorten zurückbleibenden Kokes haben im Hüttenwesen nur eine beschränkte Verwendung; in den Hoh- und Kupolöfen geben sie nicht die erforderliche Hitze. Die meisten Kokes und namentlich alle, die bei dem Eisenhüttenbetriebe verwendet, müssen demnach durch Verbrennung der Steinkohlen fabrizirt werden.

170. Die Verkokung im Großen*) wird nur unter Luftzutritt ausgeführt, nur selten in Haufen und Meilern, sondern gewöhnlich in Oefen. Zur Meiler- und Haufenverkokung werden nur Stückkohlen verwendet, während in Oefen fast nur Staubkohlen benutzt werden. Jedoch sind nur Staubkohlen von Backkohlen zu benutzen, indem Sinterkohlen-Klein nur im Gemenge mit Backkohlenklein feste Kokes giebt, wie wir schon vorhergehend bemerkten. Im Allgemeinen setzen wir hier die gewöhnlichen Verfahrungsarten beim Verkoken in Meilern, Haufen und Oefen als bekannt voraus, und nur über die neuern Prozesse bei der Staubkohlenverkokung in Oefen wollen wir hier eine gedrängte Uebersicht mittheilen.

---

*) Die Paragrahen 170, Flg. sind hier ganz umgearbeitet worden. H.

Einer der wichtigsten Fortschritte der neuern Zeit sowohl für das Eisenhüttengewerbe als auch für den Eisenbahnbetrieb, die als die beiden wichtigsten Consumenten der Kokes angesehen werden müssen, ist die Aufbereitung der Steinkohlen. Dadurch werden nicht allein die vielen erdigen Theile der Staubkohlen, sondern auch die Schwefelkiese abgeschieden und daher auch nicht allein Staubkohlen, sondern auch zerpulverte Stückkohlen aufbereitet. Der Wärmeeffekt von Kokes aus aufbereiteten und dadurch reinern und kohlenstoffreichern Steinkohlen ist ein weit bedeutenderer. In Frankreich, wo die Steinkohlen im Allgemeinen theurer sind wie in Deutschland, Belgien und England, hat man die zuerst in Deutschland ausgeführte Aufbereitung neuerlich namentlich dadurch sehr zu verbessern gesucht, daß man verschiedene Steinkohlensorten mittels verschiedener Apparate aufbereitete und reinigte. Auf diese Weise hat man denn jetzt eine ganze Reihe von Aufbereitungsmaschinen, deren Beschreibung jedoch hier unberücksichtigt bleiben muß.

171. Die Darstellung der beim Hütten- und Eisenbahnbetriebe, sowie zu verschiedenen andern Zwecken erforderlichen Kokes ist ein sehr wichtiger Theil des Grubenhaushalts und von einem solchen Umfange, daß die gedrängteste Uebersicht hier zu weit führen würde. Der Bearbeiter kann daher hier nur das Wichtigste mittheilen und in dieser Beziehung auf eine vortreffliche Arbeit über „Kokes-Oefen und Kokes-Wirthschaft", in der Ztschr. des Ver. deutscher Ingenieure, Bd. III., S. 14 flg. verweisen.

Nimmt man an, daß das Backungs- und Verkokungs-Vermögen durch ein günstiges Verhältniß des Sauer- zum Wasserstoff in den Steinkohlen bedingt ist, so lassen sich die folgenden beiden Bedingungen für den rationellen Betrieb der Verkokung ableiten.

Es muß möglich sein, durch eine innige Vermengung fetter und magerer Kohlen eine Masse von höchster Verkokungsfähigkeit zu erhalten und ebenso muß es auch gelingen, magere Kohlen, die sich für sich allein nicht verkoken lassen, durch Zusatz von Backkohlen verkokungfähig zu machen. Die Verkokung der magern Kohlen muß möglichst rasch eingeleitet werden, damit eine Kohlenwasserstoff-Verbindung erfolgen kann, ehe sich aller Sauerstoff mit Wasserstoff verbunden hat. Bei sehr backenden Kohlen hingegen ist durch eine langsame Einleitung diese Verbindung zu erleichtern. Die Erfahrung hat die Richtigkeit dieser beiden Sätze hinlänglich bewiesen. Das Gemenge von fetten und magern Kohlen muß in einem solchen Verhältniß hergestellt werden, daß es die Zusammensetzung derjenigen Steinkohlen, welche erfahrungsmäßig die besten Kokes geben, besitzt, und daher beim Verkoken auch ähnliche Kokes liefern muß, wie diese Steinkohlen. Auf diese Weise können auch die magern oder anthracitartigen Staubkohlen, die außerdem, wie wiederholt bemerkt, einen so geringen Werth haben, sehr zweckmäßig benutzt werden. Ein Gemenge von $\frac{1}{5}$ Backkohlen und $\frac{4}{5}$ Anthracit soll vortreffliche Kokes geben.

Magere Kohlen liefern um so bessere Kokes, in je schmälern Oefen sie verkokt werden, indem man alsdann im Stande ist, sie rasch und gleichmäßig einer bestimmten Temperatur auszusetzen. Uebrigens ist das gesammte Verkokungswesen, obgleich Theorie und Praxis manche Fingerzeige zu geben vermögen, bis jetzt noch reine Erfahrungssache, indem die angegebenen Regeln häufige und auffallende Ausnahmen erleiden. Aus den

Untersuchungen bewährter Fachmänner geht nämlich mit Sicherheit hervor, daß Kohlen von fast gleicher Zusammensetzung unter Umständen ein sehr verschiedenes Backungs-Vermögen zeigen und ebenso, daß Kohlen von gleichem Backungsvermögen eine verschiedene Zusammensetzung haben können. Wir verweisen in dieser Beziehung unsere Leser auf eine sehr interessante Abhandlung von dem Ingenieur Peters „über den Heizeffekt der Brennmaterialien" in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Bd. II, S. 223, Bd. III. S. 2 flg., welche eine Zusammenstellung der wichtigsten bekannten Thatsachen über diesen Gegenstand enthält. Hier genügt das Resultat, daß außer der Zusammensetzung auch noch das Alter, die Lagerungsverhältnisse und manche noch unbekannte Ursachen auf die Verkokungsfähigkeit der Steinkohlen einwirken können.

Ueber die zweckmäßigste Form der Verkokungsöfen kann die Theorie bis jetzt ebenfalls wenig Aufschluß geben. Aus dem Bemerkten geht nur hervor, daß im Allgemeinen zur Verkokung magerer Steinkohlen schmälere, und zu der der backenden Kohlen breitere Oefen erforderlich sind. Dagegen scheint es aber gänzlich ohne allen Einfluß zu sein, ob letztere vierseitig, rund oder elliptisch, mit hohem oder niederem Gewölbe ausgeführt sind.

Oekonomische Rücksichteu, rationeller Betrieb, die Erzeugung guter Kokes, und die möglichste Verminderung des Abbrandes, dies sind die Hauptbedingungen bei der neuen Verkokung. Einerseits suchte man in möglichst einfach erbauten Oefen gute Kokes mit mehr oder weniger hohem Abbrand zu erzielen, und den Schaden, welchen die direkte Zuführung der Verbrennungsluft in dem Verkokungsraume herbeiführte, dadurch zu vermindern, daß man die Gase zu Nebenzwecken, hauptsächlich zur Dampfkesselfeuerung benutzte, die auf Eisenhütten die Gebläsedampfmaschinen und auf großen Eisenbahnstationen die Arbeitsmaschinen in den mechanischen Werkstätten in Betrieb setzen. Andererseits hat man aber einen geringen Abbrand, der bei Verkokungsöfen mit Dampfkesseln nicht zu erreichen war, zu vermeiden gesucht, indem man von dem Gesichtspunkte ausging, den Verkokungsprozeß von allen Nebenzwecken unabhängig zu machen, dagegen aber eben so schwierig als kostbar herzustellende Oefen konstruirte, wodurch man dahin kommen wollte, die Temperatur des Verkokungsraumes zweckmäßig zu reguliren, was dennoch nicht immer gelang.

Sollen nämlich die Gase zur Kesselfeuerung benutzt werden, so ist Dampferzeugung die Hauptsache; allein sie erfolgt meistens auf Rechnung des Ausbringens bei der Verkokung, während die Gase zur Seiten- und Sohlenheizung der Verkokungsöfen meistens nicht benutzt werden können, welche zu einem hohen Ausbringen wesentliche Bedingung ist. Es sollen nun die gebräuchlichsten Verkokungsöfen, sowohl die ältern als neuern im Allgemeinen besprochen werden.

Früher waren die sogenannten Kuppel-Oefen mit kreisrundem Querschnitt am häufigsten und auch jetzt werden sie noch viel angewendet. Es kann dies für die verschiedenartigsten Kohlensorten mit fast gleich gutem Erfolge geschehen und nur wenige Erfahrungen sprechen dafür, daß Oefen dieser Art zweckmäßiger für magere, als für fette Kohlen sind. Es geht hieraus im Allgemeinen hervor, daß die Form des Verkokungsraumes, sofern sie nur eine regelmäßige ist, einen nur geringen Einfluß ausübt, und daß deshalb bei der Erbauung von Verkokungsöfen, wenn von der Sohlenheizung abgesehen wird, Rücksichten auf

die Festigkeit des Baues, sowie auf eine leichte und zweckmäßige Bedienung vorzugsweise maßgebend sein können. Ebenso ist die Größe des Verkokungsraumes ohne besondern Einfluß, sobald die Breite nach der Qualität der zu verkokenden Steinkohle bestimmt ist, in Beziehung auf die leichte und zweckmäßige Bedienung unbedingt minder vortheilhaft, als die meisten neuern Konstruktionen, während sie in Beziehung auf Dauerhaftigkeit von keiner derselben übertroffen werden. Bei billigen Arbeitslöhnen und nur schwach backenden Arbeitslöhnen sind diese Oefen sehr zu empfehlen.

Ein solcher Ofen wird mit 22 Tonnen (à 7¼ preuß. Kubikfuß oder à 3¾ bis 4 Ctr.) Steinkohlen gefüllt; der Prozeß ist nach 48 Stunden beendigt und man gewinnt aus 100 Pfund magern oberschlesischen Steinkohlen 53—64 Pfd. Kokes und 100 Tonnen dieser Kohlen geben 83 Tonnen Kokes.

Die Oefen mit elliptischem oder birnförmigem Grundriß haben meist eine geringe Höhe, während ihre Durchmesser etwa 6 und 9 Fuß betragen. Der Einsatz beträgt 40—50 Ctr. und die zum Verbrennen erforderliche Luft wird durch im Umkreise angebrachte Kanäle zugeführt. Es liegen gewöhnlich eine ganze Reihe von solchen Verkokungsöfen an einander; jeder hat eine Einsatzthür, durch welche auch die Kokes ausgezogen werden. Oefen dieser Art haben häufig Kessel über sich und die Gase werden, nachdem sie die Kesselfeuerung bewirkt haben, durch etwa 16 Fuß hohe Essen abgeführt. Ein Erwärmen der Ofensohlen ist bei diesem Ofen nicht thunlich.

Aus 20 Hektolitern oder etwa 36 preuß. Scheffeln Einsatz werden in vierundzwanzigstündigem Betriebe 30 Hektoliter Kokes gewonnen. Ein Hektoliter Kohlen wiegt 90 Kilogr., 1 Hektoliter Kokes etwa 41 bis 42 Kilogr., so daß das Ausbringen nach dem Gewicht 66 bis 68 Proc., nach dem Volum 150 Proc. beträgt. — Auch zu Ougrée in Belgien und auf einigen Stationen der London-Birmigham-Bahn sind solche Oefen mit elliptischer Sohle von 11 und 12 engl. Fuß Durchmesser bei 8 Fuß Höhe im Gebrauch. 18 Stück dieser Oefen liegen in zwei Reihen hintereinander und münden mittelst eines gemeinschaftlichen Rauchkanals von 2½ Fuß Höhe und 1⅝ Fuß Weite in eine 112 Fuß hohe Esse.

Die Ofenformen dieser Art sind freilich keiner weitern Entwickelung fähig, allein da sie sehr einfach sind, so werden sie sich noch lange neben den neuern und neuesten Ofenformen behaupten, obgleich sie sich etwas schwierig beschicken und entladen lassen.

Weit rascher entwickelten sich dagegen die Oefen mit vierseitigem Grundriß. da sich fast alle Erfindungen und Verbesserungen der neuern Zeit darauf beziehen. — In der einfachsten Form, und noch sehr an die ursprüngliche Haufenverkohlung erinnernd, findet man die offenen unter dem Namen Schaumburger oder Meileröfen, bestehend aus vier Seitenmauern und Zuglöchern in denselben. Sie stellen im Gegensatz zur Stückkohlenverkokung in Meilern und Haufen, aus Staubkohlen, unter beweglicher Decke, wie bei jenen, ein sehr gutes Produkt dar; wobei freilich gute backende Kohlen vorausgesetzt werden. Die Kokes sind langstenglich und sehr dicht. Dadurch sind sie für magere Staubkohlen nicht anwendbar und ihre Bedienung ist für die Arbeiter sehr anstrengend. — Das Ausbringen beträgt 63 bis 65 Proc.; die Brennzeit dauert 6 Tage, worauf die Oefen 10 bis 12 Tage abkühlen.

Unter den geschlossenen Oefen mit vierseitigem Grundriß sind besonders im östlichen und im mittlern Deutschland die sogenannten Wittenberger oder Patentöfen im Gebrauch; man findet sie ohne und mit Dampfkesseln. Die Haupteigenthümlichkeiten dieser Oefen bestehen in der niedrigen Lage der Ofensohle und in der Gestalt des Verkokungsraumes, welche Einrichtungen es gestatten, mittelst einer einfachen mechanischen Vorrichtung die ganze fertige Kokesmasse auf einmal aus dem Ofen zu ziehen. Außerdem findet man bei diesen Oefen häufig die Anordnung einer besondern Luftzuführung zum Verkokungsraume und eine Luftcirkulation unter der Heerdsohle. In Harburg verkokt man mit diesen Oefen gute englische Backkohlen, von den 1 hannöv. Kubikfuß 38 bis 42 Pfund wog; das Ausbringen betrug 75,5 bis 80,1 Proc. im Ganzen und 74,1 bis 78,7 an brauchbaren Kokes. — In Gleiwitz verkokt man in den Oefen fette und zu Königshütte magere Sinterkohlen.

Auf den Rheinisch-Westphälischen Hüttenwerken fanden die Wittenberger Oefen wenig Eingang, indem man dort schon früher die gegen die alten Kuppelöfen schon besseren belgischen Einrichtungen angenommen und verbessert hatte. Diese Verbesserungen bestanden hauptsächlich darin, daß man die Ofensohle niedriger legte und die Verengung des Heerdes nach der Thüröffnung zu wegließ, so daß der ganze Ofenraum von möglichst einfacher Form wird und zugleich die Thüröffnungen der ganzen Breite des Ofens entsprechen, wodurch es möglich wird, den Ofen mit einer Auspreßmaschine zu entladen. Die Einrichtung der Kesselkanäle ist auch gegen früher verbessert.

172. Die ausgedehnteste Verkokung wurde bis neuerlich auf den Eisenhütten und Eisenbahnen selbst und weniger auf den Gruben vorgenommen. In den letzten Jahren waren die steigende Ausdehnung des Steinkohlenbergbaues und die enormen Kapitalmassen, welche demselben zuflossen, die Veranlassung, die große Masse der Kleinkohlen in mehr oder minder großen Anlagen auf den Gruben selbst zu verkoken. Dadurch wurde der Verkokungsprozeß sehr ausgebildet und es bemühten sich die Grubenverwaltungen, für jede Kohlensorte und für jede Oertlichkeit eine passende Ofenform und eine passende Methode der Verkokung zu finden. Die geeignete Vorbereitung der Kohlen durch Sieb- und Waschanstalten erhielt ebenso ihre Bedeutung, wie die zweckmäßigste Aufbewahrungsmethode, da man gefunden hat, daß die Verkokungsfähigkeit der Kohlen eben so sehr von der Art der Aufbewahrung und der Länge der Lagerzeit abhängig ist, als der Werth der fertigen Kokes von dem Grade der Reinheit der verwandten Kohlen beeinflußt wird.

Die meisten neuen Oefen sind nach dem Prinzip der Retortenverkohlung konstruirt, wobei jede einzelne Retorte durch die Gase der nebenan, gegenüber, darunter oder darüber liegenden Retorte während des Beginnens der Verkokung erhitzt wird, während sie selbst in der zweiten Hälfte des Verkokungsprozesses ihre Gase zur Erhitzung der andern, jetzt wieder frisch beschickten Retorten abgiebt. Es ist also überall das Bestreben erkennbar, möglichst rasch, gleichmäßig und mit dem geringsten Aufwande zu fabriziren. Die verschiedenen Oefen unterscheiden sich dabei haupsächlich durch die Anordnung der Züge, durch die Art der Verbindung der einzelnen Oefen zu einem System und durch die Größe des Ofenraumes. Durchgängig haben sie jedoch eine geringere Breite, als die bisher betrachteten Oefen,

und sind meist zur Kesselfeuerung nicht geeignet. Sie erfordern alle ein ausgezeichnet feuerfestes Material und eine ausgezeichnet sorgfältige Ausführung des Ofenmauerwerks, und sind deshalb sowohl in der Anlage als in der Unterhaltung theuer.

173. Wir wollen einige von diesen Oefen und die damit erlangten Resultate erwähnen: — Die Dubochet'schen Oefen, bei Saarbrücken im Betriebe, werden mit 108 Centnern Steinkohlen beschickt, welche etwa am dritten Tage verkokt sind. Jeder Ofen liefert täglich etwa 30 Ctr. Kokes bei einem Ausbringen von 60 Proc.

Eine andere Art von diesen neuern Oefen sind die Fabry'schen, jedoch von sehr verwickelter Konstruktion. Ein solcher Ofen faßt etwa 40 Centner Steinkohlen, gewährt ein Ausbringen von 70 bis 72 Proc. und bedarf zum Laden und Entleeren drei Mann, welche diese Arbeiten in $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Stunden verrichten, da zur Bedienung der Presse zwei Mann hinreichend sind und der dritte die Kohlen wegschafft.

Die Frommont'schen Oefen gehören zu den Doppel oder gekuppelten Oefen, bei denen zwei übereinanderliegende Ofenreihen so combinirt sind, daß je zwei senkrecht übereinander liegende Oefen zusammen gehören, indem sie eine gemeinsame Gasleitung haben, und ihr Betrieb insofern in gegenseitiger Abhängigkeit steht, als beide nicht zugleich beschickt und entladen werden dürfen. — Ein solcher Ofen wird mitt 22 Scheffel Kohlen beschickt, welche bei fettern Kohlen in 24 Stunden, bei magern aber in 36 Stunden gaar sind und ein Ausbringen von 65 Proc. geben.

Die Smet'schen Oefen unterscheiden sich von den vorhergehenden durch eine bei weitem einfachere Gasführung und noch einfacher sind die Francois'schen nnd die Dulait'schen, mit welchen letztern man in Oberschlesien sehr zufrieden ist.

In dem Steinkohlenbecken der Loire ist eine Reihe von Versuchen mit verschiedenen gekuppelten und nicht gekuppelten Oefen angestellt und im Bullet. de la Soc. de l'Indust. minérale Bd. II. S. 284 ꝛc. und daraus auszugsweise im Berggeist 1858, Nr. 2 und 3 mitgetheilt. Die dortigen Kohlen sind nur wenig backend, wie schon aus den in nachfolgender Tabelle zusammengestellten Analysen im Allgemeinen hervorgeht.

Ergebnisse.	Commentry.	Les Ferrières.	Bézenet St. Alexandre.	Bézenet Communal.	Bézenet Chauvasi.
Aschengehalt	4,51	7,08	4,66	5,39	7,90
Kohlenstoff	56,29	48,52	55,34	54,27	56,60
Kokes	60,80	55,60	60,00	59,66	64,50
Flüchtige Produkte . . .	39,20	44,40	40,09	40,34	35,50
Gewicht des Hectoliters (1,8 preuß. Sch.) aufbereiteter Kohlen, feucht	80,00K.	80,00K.	78,00K.	76,00K.	77,00K.
Gewicht des Hectolit. aufbereiteter Kohlen, trocken . . .	78,00 „	78,00 „	76,00 „	74,00 „	73,85 „
Dichtigkeit	1,323	1,20	1,31	1,28	1,38
Heizvermögen	0,794	9,699	0,769	0,758	0,682

Die mit den verschiedenen Oefen, mit denen Versuche angestellt worden, erlangten Resultate waren die folgenden:

Die Kohlen von Commentry gaben:

1.	In den großen gekuppelten Oefen	55,16 Proc.
2.	„ „ kleinern Oefen derselben Art	56,15 „
3.	„ „ kleinen gekuppelten Oefen von Virloy . . .	61,55 „
4.	„ „ kleinen nicht gekuppelten Oefen von Forey . .	61,05 „
5.	„ „ Belgischen Oefen	60,60 „
6.	„ „ gewöhnlichen großen Oefen zu Commentry, die wir hier nicht weiter beschrieben haben . . .	54,00 „

Die Kohlen von Ferrières gaben:

1.	In den großen gekuppelten Oefen	54,42 „
2.	„ „ gekuppelten Oefen von Virloy	57,85 „
3.	„ „ kleinen nicht gekuppelten Oefen von Forey . .	59,38 „
4.	„ „ Belgischen Oefen	57,53 „

Auch in England hat man in neuerer Zeit vielfach Oefen von kleinern Dimensionen und den vorhergehenden ähnlich erbaut, so daß die Bestrebungen zur Verbesserung der Kokesfabrikation sich allgemein bemerkbar machen.

Die leitenden Prinzipien, welche den bisherigen Bestrebungen mehr oder minder zur Grundlage dienten, lassen sich durch die bei der Beschreibung des den Gebrüdern Appolt patentirten Ofens dargelegten Konstruktionsmotive hinreichend genau charakterisiren, weshalb wir dieselben nachfolgend anführen. Das Verfahren der Gebrüder Appolt besteht in Folgenden:

1) Die Kohlen in kleinern Quantitäten zu verkoken als dieses bisher der Fall gewesen ist.

2) Eine große Erhitzungsfläche im Innern des Ofens zu bilden, um eine schnelle Erwärmung der Kohlen zu erreichen.

3) Die große Erhitzungsfläche durch im Ofen angebrachte senkrechte, doppelte und im Innern leere Räume enthaltende Scheidewände zu erhalten, so daß die entweichenden Gase zwischen denselben frei zirkuliren und verbrennen können.

4) Die Gase am untern Ende der Ofenabtheilungen ausströmen zu lassen, so daß sie durch ihre natürliche aufsteigende Tendenz sämmtliche Theile des Ofens gleichmäßig erhitzen.

5) Die Außenfläche des Ofens verhältnißmäßig zu verkleinern und die zur Füllung und Entladung dienenden Thüren wirksamer gegen Wärmeverluste zu schützen.

174. Wenn man den Rauch aus den Verkokungsöfen in verschlossene Räume führt, so setzt sich die leichte Kohle, die er mit weggerissen hat, größtentheils ab; dieser Absatz bildet Steinkohlenruß. Die Menge dieses Absatzes bildet etwa den 30. Theil von den verkokten Steinkohlen.

175. Die Menge der bei der Verkokung der Steinkohlen verloren gehenden Wärme ist sehr bedeutend; sie beträgt mehr als $\frac{1}{3}$ von derjenigen, welche die vollständige Verbrennung der Steinkohlen geben kann, denn die Kokes stellen nur ungefähr $\frac{2}{3}$ von dem Gewicht der Steinkohlen, aus denen sie erzeugt worden sind, dar und die flüchtigen Theile sind diejenigen, welche die meiste Wärme entwickeln.

In manchen Eisenhütten benutzt man, wie wir schon weiter oben bemerkten, die bei der Verkokung entweichende Wärme dadurch, daß man den Rauch unter Dampfkessel oder durch Trockenkammern u. s. w. leitet. Um aber das verlorene Brennmaterial zu benutzen, muß man die sich aus den Oefen entwickelnden Gase unter Einleitung eines Luftstromes vollkommen verbrennen, weil man sonst nur einen Theil der erzeugten Wärme erhält.

176. Zu allen Benutzungen haben die Kokes um so mehr Werth, je weniger Asche sie hinterlassen. Zum Hausbrande verwendet man nur leichte Kokes, weil diese den wenigsten Werth haben. Die zum Hohofenbetriebe bestimmten Kokes müssen dicht und hart sein, Eigenschaften, die bei einer langsamen Verkokung in Oefen, wie wir schon oben bemerkten, nicht immer erreicht werden können. Der Druck, den die Kokes während ihrer Bildung durch die Dicke der Steinkohlenschicht erleiden, scheint einen großen Einfluß zu haben und es sind daher die unter einer beweglichen Decke in den offenen Schaumburger Oefen erzeugten Kokes die dichtesten; auch hat eine langsame Abkühlung der Oefen einen großen Einfluß auf die Kokes. Zum Lokomotivbetriebe sind ebenfalls sehr dichte und sehr harte Kokes, die nur 4—5 Proc. Asche hinterlassen, erforderlich. Man erreicht diesen letztern Zweck eines geringen Aschengehaltes am besten durch die bereits oben erwähnte Aufbereitung.

177. Der verewigte Ebelmen hat im Jahre 1851 die Verkokungsöfen auf der Hütte zu Seraing mit großer Sorgfalt untersucht und da die darüber gelieferte Arbeit eine vollständige Theorie der Verkokungsöfen enthält, so theilen wir hier das Wesentliche daraus mit.

178. Die zu Seraing damals benutzten Oefen haben zwei Thüren an den beiden Enden der Sohle, die ein Rechteck bildet, welches mit zwei Trapezen endigt. Das Gewölbe über dem Rechteck ist cylindrisch und über den Trapezen konisch. Jeder Ofen hat drei Essen, von denen eine in der Mitte des cylindrischen Gewölbes und die beiden andern an den Punkten des Zusammentreffens des cylindrischen Gewölbes mit den konischen, vorhanden sind. Die Bestimmung der Dimensionen dieser Essen ist von Wichtigkeit, weil sie die Admission der Luft in den Oefen und folglich den Gang der Verkohlung reguliren. Die Centralesse hat einen gleichen Querschnitt mit denen der beiden andern zusammen. Uebrigens benutzt man die drei Essen niemals zusammen; man verschließt die beiden an den Seiten befindlichen, wenn man die mittlere benutzt und umgekehrt. Die mittlere Esse führt die aus dem Verkokungsofen entweichenden Gase unter einen Dampfkessel, welcher die Maschinen zum Betriebe eines Hohofengebläses speist. Acht Verkokungsöfen sind auf diese Weise in einem Mauerwerk vereinigt und über ihnen liegt ein Dampfkessel, deren drei eine Maschine von 80 Pferdekräften mit dem erforderlichen Dampf versehen. In die Kesselkanäle, über jede von den mittlern Essen kann ein Luftstrom zur Verbrennung der brennbaren Gase eingeführt werden. Wenn man die verlorene Wärme nicht auf diese Weise benutzt, so verschließt man die mittlere Esse mit Hülfe eines Registers von feuerfestem Thon, so daß sich die gasigen Produkte durch die kleinen Seitenessen entwickeln können.

Die zu Seraing benutzten Steinkohlen gehören zu der Klasse der fetten und harten Steinkohlen; sie geben nur wenig aufgeblähte Kokes, die aber zum Hohofenbetriebe vortrefflich sind. Im Durchschnitt haben sie bei den unmittelbaren Analysen folgende Zahlen gegeben:

Kokes{	Kohlenstoff	78,00
	Asche . .	2,00
Flüchtige Substanzen		20,00
		100,00

Es können diese Steinkohlen mit den von Rochebelle bei Alais verglichen werden, deren Analyse Herrn Regnault gab:

Kohlenstoff	89,27
Wasserstoff	4,85
Sauerstoff und Stickstoff .	4,47
Asche	1,41

Die aus der Steinkohle von Rochebelle gelieferten Kokes sind hart und dicht. Zum Hohofenbetriebe sind sie vollkommen geeignet. Die durch Kalcination im Platintiegel untersuchte Steinkohle von Rochebelle hat 78 Gewichtsprozent Kokes hinterlassen, welche Zahl der oben von der Steinkohle zu Seraing erhaltenen sehr nahe steht. Man darf daher annehmen, daß die oben mitgetheilte Elementaranalyse die mittlere Zusammensetzung der zu Seraing angewandten Steinkohlen, ziemlich genau darstellt. Die wesentlichsten Verhältnisse bei der Verkokung der Steinkohlen in den Kesselöfen zu Seraing sind die folgenden:

Man ladet auf ein Mal in jeden Ofen 3 Kubikmeter kleine Steinkohlen und vertheilt sie möglichst genau auf der Sohle, so daß sie eine Schicht von 0,33 Meter Höhe bilden; das Chargiren dauert ¾ Stunden und es sind dabei sämmtliche Essen geöffnet, so daß die Arbeiter weniger von der Hitze leiden. Nachdem das Laden beendigt ist, verschließt man entweder die mittlere Esse oder die beiden Seitenessen; die Thüren werden verschlossen, aber nicht verschmiert und die Verkokung beginnt. Man kann sie in drei Perioden theilen. In der ersten, welche etwa ¾ Stunden dauert, erfolgt blos eine Entwicklung von Wasserdämpfen. Die zweite Periode dauert etwa 1½ Stunden; die Gase entzünden sich und verbrennen zum Theil mit einer rothen, von vielem Rauch begleiteten Flamme; die Essen sind vollständig geöffnet, aber nicht verschmiert. In der dritten Periode verbrennen die Gase sehr gut mit weißer Flamme und ohne Rauch; die Steinkohlen scheinen auf eine Dicke von 8—10 Centimeter von der Oberfläche ab zu glühen; man verschmiert die Thüren und läßt nur eine kleine Spalte am ober Theil frei von Lehm. Die Esse bleibt dabei vollständig offen. Wenn die Flamme nachzulassen beginnt, so verschließt man nach und nach und zuletzt vollständig die noch geöffneten Spalten an den Thürrändern durch Verschmieren und wenn sich gar keine Flamme mehr entwickelt, so verschließt man endlich auch die Esse. Die ganze Dauer eines Verkokungsprozesses mit dem Ein- und Ausladen der Kohlen beträgt 22—24 Stunden.

Es ist von Wichtigkeit, die Menge der in den Ofen einströmenden Luft zu reguliren, wenn man ein möglichst großes Ausbringen erhalten will. Man hat gefunden, daß sehr fette oder sehr backende Steinkohlen mehr Luft erfordern, als solche, wie die zu Seraing verkokten, die sich mehr den Sinterkohlen nähern, und daß man daher die Thüren weniger und später verschmieren müsse, weil die Verkokung sonst zu langsam erfolgt. Strömt aber zu viel Luft in die Oefen, so erfolgt eine zu rasche Verkokung, es findet ein bedeutender Abbrand statt und die erlangten Kokes sind

zu locker. Erfolgt die Verkokung sehr langsam, so daß sie z. B. 48 statt 24 Stunden dauert, so erhält man sehr harte und sehr dichte Kokes.

Das mittlere Ausbringen der zu Seraing verkokten Steinkohlen beträgt dem Volum nach 160,5 und dem Gewicht nach 67 Prozent.

Die aus den Verkokungsöfen sich entwickelnden Gase haben folgende Zusammensetzung.

	Nach 2 Stunden.	Nach 7 Stunden.	Nach 14 Stunden.	Durchschnittl. Volum.	Durchschnittl. Gewicht.
Kohlensäure .	10,13	9,60	13,06	10,93	16,86
Kohlenwasserstoff	1,44	1,66	0,40	1,17	0,65
Wasserstoff . .	6,28	3,67	1,10	3,68	0,24
Kohlenoxyd . .	4,17	3,91	2,19	3,42	3,28
Stickstoff . .	77,98	81,16	83,25	80,80	78,97
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00.

Die Gase enthalten keinen freien Sauerstoff. Da das Kokes-Ausbringen = 67, so beträgt der Kohlenstoffgehalt 67—1,41 = 65,59; es beträgt demnach der gesammte Verlust an brennbaren Substanzen 89,27—65,59 = 23,68 an Kohlenstoff und 4,85 an Wasserstoff. Bei diesem Verlust an brennbaren Substanzen steht der Kohlenstoff zum Wasserstoff im Verhältniß von 23,68 zu 4,85, oder in dem von 1 zu 0,205; während bei den Gasen der Kohlenstoff zum Wasserstoff in dem Verhältniß von 1, zu 0,064 steht. Es werden demnach mehr als $\frac{2}{3}$ von dem Wasserstoff der Steinkohle während der Verkokung verbrannt. Diese Thatsache folgt auch daraus, daß bei den Gasen die Sauerstoffmenge nur $\frac{15}{100}$ von der des Stickstoffs beträgt, während er $\frac{26}{100}$ betragen haben würde, wenn kein Theil des Sauerstoffs zur Wasserbildung entfernt worden wäre.

Da die Kohlensäure 0,27 Kohlenstoff 0,75 Kohlenwasserstoff und 0,43 Kohlenoxyd enthält, so folgt daraus, daß die Gase 16,86. 0,27 $\times$ 0,65. 0,75 $\times$ 3,28. 0,43 = 6,45 Kohlenstoff, für 78,97 Stickstoff enthalten. Da nun 100 Kilogr. Steinkohlen bei der Destillation 23,68 Kohlenstoff durch ihre Verwandlung in Kokes verlieren, so folgt daraus, daß die entsprechende Stickstoffmenge = $78,97 . \frac{23,68}{6,45}$ = 290 Kilogr. ist; und da der in einem Kubikmeter atmosphärischer Luft eingeschlossene Stickstoff fast 1 Kilogr. wiegt, so folgt daraus, daß man während der Verkokung fast 2,90 Kubikmeter Luft auf 1 Kilogr. Steinkohle in die Oefen geführt hat.

Wenn man annimmt, daß das Verhältniß des Stickstoffs bei der angewendeten Steinkohle 1,47 ist, so wird das des Sauerstoffs und des Wasserstoffs 4,85 betragen; und da die brennbaren Substanzen der Steinkohle 89,27 Kohlenstoff und 4,35 freier Sauerstoff sein würden, so wird der Wärmeeffekt dieser Steinkohle sein: 0,8927. 80,80 $\times$ 0,0435. 34,462 = 8712 und die verlorene Wärmemenge 0,2368. 8080 $\times$ 0,0435. 34,462 = 3405 oder fast 0,40.

Die Wärme, welche durch die Verbrennung der nicht verbrannten Gase hervorgebracht sein würde; läßt sich leicht bestimmen, wenn man bemerkt, daß für jedes Kilogr. Steinkohle 2,90 Kilogr. Stickstoff eingeführt worden sind. Es werden alsdann die jedem Kilogr. Steinkohlen entsprechenden Gase, die in der vorhergehenden Tabelle mit dem Verhältniß 9,90 zu 0,79, oder durch 3,67 multiplizirt sein. Es wird sich demnach diese Wärmemenge für den Kohlenwasserstoff 0,0065. 3,67 13,063 = 311; für den Wasserstoff 0,0024. 3,67. 34,462 = 303; und für das Kohlenoxyd 0,0328., 3,67. 24,03 = 528; zusammen 1142 sein.

Da die spec. Wärme der Kokes 0,20, so würde die in dem glühenden Kokes zu 1000 Grad angenommene eingeschlossene Wärme gleich sein: 1000. 0,20 = 200. Läßt man nun die durch die äußere Oberfläche des Ofens verlorene Hitze unberücksichtigt, so würde die zu benutzende Wärmemenge 3200 sein, wovon fast $\frac{1}{3}$ von der Verbrennung der Gase kommen müßte.

In der Hütte zu Seraing verkoken 8 Oefen jeder 2750 Kilogr. Steinkohlen in 24 Stunden und dieselben speisen einen Dampfkessel von 80 Pferdekräften. Nimmt man nun die Zahl 3000 für die zu benutzende, von jedem Kilogr. Steinkohlen der 8 Oefen während 24 Stunden erzeugte Wärme an, so würde die Wärmemenge 2750. 8. 3000 = 66,000,000 sein; d. h. in der Stunde 2,750,000, die durch 8000, den Wärmeeffekt einer mittelguten Steinkohle dividirt 343,7 giebt. Es stellt daher der Verbrauch des Kessels von 80 Pferdekräften 4,3 Kilogr. Steinkohlen auf die Pferdekraft und die Stunde dar.

Nach den direkten Versuchen kann die aus einem Ofen verloren gehende Wärme 146 Kilogr. Wasser in der Stunde verdampfen, welches in dem Verhältniß von 6 Kilogr. auf das Kilogr. Steinkohle 24 der letztern darstellen würde. Es steht dieses Resultat weit unter dem von 8 vereinigten Oefen erlangten, denn für einen jeden derselben beträgt der Nutzeffekt $\frac{343,7}{8}$ = 43 Kilogr. Steinkohle.

Aus dem Vorhergehenden folgt, daß zwischen der Verkohlung des Holzes und der Steinkohle eine große Verschiedenheit stattfindet; bei den letztern wird ein Theil der Gase verbrannt, welches bei dem Holz nicht der Fall ist.

179. Wiederholen wir das Gesagte, so läßt es sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1) Die sich bei der Kokesfabrikation entwickelnden Gase enthalten keinen freien Sauerstoff; sie enthalten brennbare Gase, deren Menge sich vom Beginn bis zum Ende des Prozesses vermindert.

2) Mehr als $\frac{2}{3}$ von dem Wasserstoffgehalte der Steinkohle werden während der Verkokung verbrannt.

3) Die $\frac{4}{5}$ der verloren gehenden Wärme bestehen in fühlbarer Wärme.

4) Da die brennbaren Gase nur in geringer Menge vorhanden sind, so lassen sie sich nur bei einer hohen Temperatur entzünden.

180. Wärmeeffekt der Kokes. — Der Verfasser kennt keine direkten Versuche, aus denen man den Wärmeeffekt der Kokes ableiten könnte; dieselben würden wegen der geringen Brennbarkeit dieses Körpers

sehr schwierig auszuführen sein; sie würden aber auch wegen des sehr veränderlichen Verhältnisses der Asche, welche die Kokes bei ihrer Verbrennung hinterlassen, gar keinen Nutzen haben. Man nimmt an, und es ist eine sich nur wenig von der Wahrheit entfernende Hypothese, daß der Wärmeeffekt der Kokes gleich dem seines Kohlenstoffsgehalts sei. Da die Kokes Aschenmengen geben, die zwischen 15 und 2 Prozent schwanken, so variiren die Wärmeeffekte zwischen 6800 und 7900.

Die verschiedenen festen Brennmaterialien, die wir bis jetzt untersucht haben, werden nicht immer in ihrem natürlichen Zustande verbrannt; unter gewissen Umständen zersetzt man sie, um sie in brennbare Gase zu verwandeln, die alsdann in eigenthümlich eingerichteten Oefen verbrannt werden. Zuweilen benutzt man auch Gemische von brennbaren Gasen, die sich bei gewissen Prozessen bilden. Es kann jedoch von dieser Umwandlung nicht eher die Rede sein, als bis wir von den Oefen und Heerden reden.

Zehntes Kapitel.

Bestimmung der zur Verbrennung verschiedener Brennmaterialien erforderlichen Luftmengen, so wie der entweichenden Gasmengen.

181. Die Bestimmung der Dimensionen von den Essen, die eine gegebene Wirkung haben sollen, erfordert nothwendig die Kenntniß der Luftmengen, die sie in der Stunde in den Ofen einströmen lassen müssen und es ist daher vor allen Dingen nöthig, die Luftmenge zu kennen, welche die Verbrennung von 1 Kilogr. verschiedener Brennmaterialien erfordert.

182. Da die in den Gewerben angewendeten Brennmaterialien sämmtlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, so findet man, wenn man die zur Verbrennung von 1 Kilogr. eines jeden dieser letztern Körper erforderlichen Luftmengen kennt, nach der Zusammensetzung der andern Brennmaterialien sehr leicht die zu deren Verbrennung nöthigen Luftmengen.

183. Da die Kohlensäure aus 27,27 Kohlenstoff und aus 72,73 Sauerstoff besteht, so folgt daraus, daß 1 Kilogr. Kohlenstoff $\frac{72,73}{27,27}$ $= 2,667$ Kilogrammeter Sauerstoff erfordert um in Kohlensäure verwandelt werden zu können. Da die Dichtigkeit des Sauerstoffs im Verhältniß zur Luft 1,1056 ist, und 1 Kubikmeter Luft bei 0 Grad und unter einem Druck von 0,76 Meter 1,29 Kilogr. wiegt, so beträgt das Gewicht eines Kubikmeter Sauerstoff $1,29 . 1,1056 = 1,43$ Kilogr.; und folglich erfordert 1 Kilogr. Kohlenstoff zu seiner Verbrennung $\frac{2,667}{1,43} = 1,865$ Kubikmeter Sauerstoff. Da nun ferner die Luft 0,21 Sauerstoff enthält,

so erfordert die Verbrennung von 1 Kilogr. Kohlenstoff $1{,}865 . \frac{100}{21} = 8{,}881$ atmosphärische Luft.

184. Da das Wasser aus 11,1 Wasserstoff und aus 88,9 Sauerstoff gebildet ist, so erfordert 1 Kilogr. Wasserstoff zu seiner Verbrennung $\frac{88{,}9}{11{,}1} = 8$ Kilogr. Sauerstoff, oder $\frac{8}{1{,}43} = 5{,}594$ Kubikmeter oder $5{,}594 . \frac{100}{21} = 26{,}638$ Kubikmeter Luft. Nach diesen Elementen ist es leicht, die Luftmenge zu berechnen, welche die Verbrennung von 1 Kilogr. eines jeden Brennmaterials erfordert.

185. Vollkommen trockenes Holz, wenigstens dasjenige, welches während einer hinreichenden Zeit der Temperatur von 140—150 Grad ausgesetzt gewesen ist und welches 0,5 Kohlenstoff und 0,01 Wasserstoff enthält, bedarf zur Verbrennung von 1 Kilogr. eine Luftmenge von

$0{,}50 . 8{,}881 \times 0{,}01 . 26{,}638$ Kubikmeter $= 4{,}707$ Kubikmeter

186. Für Holz im gewöhnlichen Zustande der Trockenheit, d. h. mit einem Wassergehalt von etwa 0,30 wird diese Luftmenge nur betragen:

$4{,}707 . 0{,}70 = 3{,}295$ Kubikmeter.

187. Holzkohle, welche gewöhnlich 0,07 Asche und 0,07 Wasser, und folglich 0,86 Kohlenstoff enthält, bedarf zur Verbrennung von 1 Kilogr.:

$0{,}86 . 8{,}881 = 7{,}638$ Kubikmeter.

188. Vollkommen getrocknete Lohkuchen, die wenigstens 3 Prozent mehr Asche als das Holz enthalten können als aus 0,48 Kohlenstoff und 0,1 Wasserstoff angesehen werden; es wird alsdann das Volum der Luft sein:

$0{,}48 . 8{,}881 \times 0{,}01 . 26{,}638$ Kubikmeter $= 4{,}529$ Kubikmeter.

189. Für gewöhnliche Lohkuchen, die 0,30 Wasser enthalten wird das Luftvolum nur betragen:

$4{,}529 . 070 = 3{,}170$ Kubikmeter.

190. Getrockneter Torf von guter Beschaffenheit, der fast 0,58 Kohlenstoff, 0,02 freien Wasserstoff und 0,05 Asche enthält, erfordert eine Luftmenge von:

$0{,}58 . 0{,}881 \times 0{,}02 . 26{,}638 = 5{,}684$ Kubikmeter.

191. Guter Torf, der aber nur einer längern Lufttrocknung unter Schuppen ausgesetzt gewesen ist und im Durchschnitt 0,30 Wasser enthält, erfordert zur Verbrennung von 1 Kilogr. 1 Luftvolum von:

$5{,}684 . 0{,}70 = 3{,}978$ Kubikmeter.

192. Torfkohle, gewöhnlich mit 0,20 Aschengehalt wird eine Luftmenge erfordern, die gleich ist:

$8{,}881 . 8{,}80 = 7{,}105$ Kubikmeter.

193. Die zur Verbrennung von 1 Kilogr. Steinkohle erforderliche Luftmenge kann wegen der Schwankungen bei der Zusammensetzung aus Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und fremdartigen Substanzen, nicht ge-

nau bestimmt werden. Man muß alsdann die Berechnung für eine Steinkohle machen, die den größten überschüssigen Wasserstoffgehalt enthält, da Wasserstoff mehr Sauerstoff absorbirt als Kohlenstoff. Wir wählen hier eine Steinkohle die 0,04 überflüssigen Wasserstoff und 0,12 Sauerstoff und Wasserstoff in den zur Wasserbildung nöthigen Verhältnissen und 0,82 Kohlenstoff enthält, welches einen Aschengehalt von 0,02 voraussetzt. Die Luftmenge wird alsdann sein:

8,881. 0,82 $\times$ 26,638. 0,04 = 8,348 Kubikmeter.

194. Endlich für Kokes mit einem Aschengehalt von 0,02 bis 0,15, wird die Luftmenge betragen von:

0,98. 8,881 = 8,703 Kubikmeter und

0,85. 8,881 = 7,549 Kubikmeter.

195. Für die meisten Ofen aber, hauptsächlich für die der Dampfkessel sind die zur Verbrennung angewendeten Luftvolumina weit bedeutender; sie betragen fast das Doppelte von dem von uns Berechnetem. Man findet nämlich etwa 10 Prozent freien Sauerstoff in den aus den Essen entweichenden Gasen; es ist dies eine durchaus bestimmt erwiesene Thatsache, von welcher weiter unten näher geredet werden wird. Man hatte den Oefen eine solche Einrichtung gegeben, daß dieser Bedingung entsprochen werden konnte, indem man fürchtete, daß zu viel brennbare Gase entweichen und Kohlenoxyd bilden würden. Nach den Versuchen Ebelmen's aber, bei verschiedenen, in den Eisenhütten angewendeten Oefen, ist es vollständig erwiesen, daß wenn man den Rosten eine zweckmäßige Oberfläche und den Brennmaterialschichten eine hinreichende Dicke giebt, sobald der Ofen eine hinreichend hohe Temperatur hat, aller Sauerstoff der Luft ohne bemerkbare Entwicklung brennbarer Gase benutzt werden kann. Diese Ofenkonstruktion gewährt große Vortheile; die Oefen und die aus denselben entweichenden Gase haben eine weit höhere Temperatur und der durch die Essen veranlaßte Wärmeverlust kann wesentlich vermindert werden.

196. Die von uns gefundenen Zahlen bezeichnen die Luftmengen, welche zur Verbrennung von 1 Kilogr. verschiedener Brennmaterialien in die Oefen geführt werden müssen. Wir wollen nun die Gasmengen zu bestimmen suchen, die aus den Essen ausströmen.

197. Wenn das Brennmaterial aus reinem Kohlenstoff bestände, sowie die Kohlensäure ein gleiches Volum wie der sie gebildete Sauerstoff hat, so würde die aus der Esse ausströmende Luftmenge gleich der in den Ofen eingeführten Menge, ausgedehnt in der Temperatur der Esse sein; es findet dies für Holzkohle, Torf, Kokes und Anthracit statt.

198. Wenn die Brennmaterialien außer dem Kohlenstoff, außer Wasser und außer Sauer- und Wasserstoff in den erforderlichen Verhältnissen zur Wasserbildung enthalten, so kann man das ausgeströmte Gasvolum dem eingeströmten Luftvolum mit der durch die Temperatur der Esse bedingten Verdünnung, nicht gleich erachten, denn es weicht durch das Volum des erzeugten Dampfes ab. Dasselbe Verhältniß findet auch noch statt, wenn die Brennmaterialien einen Ueberschuß an Wasserstoff enthalten, vorausgesetzt, daß das Dampfvolum, zu dessen Entstehung sie Veranlassung geben, weit größer ist als die Sauerstoffmenge, die zu seiner Bil-

bung gedient hat. Diese Volumina stehen fast in dem Verhältniß von 2: 1 und die Differenz ist folglich gleich dem Volum des angewendeten Sauerstoffs. Da bei dem Holz und den Lohkuchen der Wasserstoffüberschuß sehr gering ist, so kann man die Zunahme des zu ihrer Verbrennung verwendeten Luftvolums unberücksichtigt lassen; bei dem Torf und den Steinkohlen aber muß man aus zwei Ursachen die Steigerung des durch den Ofen geströmten Luftvolums berücksichtigen.

199. Da 1 Kilogr. Wasser 1,69 Kubikmeter Dampf bei 100 Grad und unter dem Drucke von 0,76 Meter producirt oder $\frac{1,69}{1+0,365} = 1,23$ Kubikmeter Dampf der Annahme nach auf 0 Grad zurückgeführt, so wird das Dampfvolum von der Temperatur t der Esse sein, 1,23 Kubikmeter (1 + a t), wobei a der Ausdehnungs=Coefficient der Gase 0,00365 ist.

200. Da 1 Kilogr. Wasserstoff 8 Kilogr. Sauerstoff erfordert, um in Wasser verwandelt zu werden, so wird dies ein Dampfvolum geben ausgedrückt durch: 9 • 1,23 (1 + a t) = 11,07 (1 + a t).

201. Für trockene Hölzer, welche 0,46 Sauerstoff und Wasserstoff in dem zur Wasserbildung erforderlichen Verhältniß und 0,01 überschüssigen Sauerstoff enthalten, wird das Dampfvolum auf das Kilogramm Holz sein:
(0,46 • 1,23 + 0,01 • 9 • 1,23) (1 + a t) = 0,68 KM. (1 + at).

202. Bei Holz mit 0,30 Wassergehalt wird das Dampfvolum sein:
(0,68 KM. • 0,70 + 0,30 • 1,23) (1 + a t) = 0,84 KM. (1 + a t).

203. Lohkuchen werden unter denselben Verhältnissen der Trockenheit ein gleiches Dampfvolum geben wie Holz.

204. Getrockneter Torf, der durchschnittlich 0,02 überschüssigen Wasserstoff und fast 0,35 Sauerstoff und Wasserstoff in den zur Wasserbildung erforderlichen Verhältnissen enthält wird folgendes Dampfvolum gegeben:
(0,35 • 1,23 + 0,02 • 9 • 1,23) (1 + a t) = 0,65 KM. (1 + a t).

205. Bei Torf von 0,30 Wasser wird dieses Volum sein:
(0,65 KM. • 0,70 + 0,30 • 1,23) (1 + a t) = 0, 82 KM. (1 + a t).

206. Endlich bei einer Steinkohle von mittlerer Beschaffenheit, welche 0,04 überschüssigen Wasserstoff und 0,12 Sauer= und Wasserstoff in dem zur Wasserbildung erforderlichem Verhältniß enthält, wird das Dampfvolum sein:
(0,12 • 1,23 + 0,04 • 9 • 1,23) (1 + a t) = 0,58 KM. (1 + a t).

207. Die folgende Tabelle umschließt eine Uebersicht der sich auf verschiedene Brennmaterialien beziehenden Hauptsätze.

Bezeichnung der Brennmaterialien.	Wärmeeffekt.	Volum der zur Verbrennung erforderlichen kalten Luft.	Angesaugte Luftvolumina, von denen die Hälfte des Sauerstoffs der Verbrennung entgeht.	Wasserdampf-Volumina auf 0° zurückgeführt, welche durch die Verbrennung von 1 Kilogr. Brennmaterial erzeugt worden sind.	Gasvolumina beim Ausströmen aus dem Ofen, auf 0° zurückgeführt; der gesammte Sauerstoffgehalt der Luft absorbirt.	Gasvolumina beim Ausströmen aus dem Ofen auf 0° zurückgeführt; die Hälfte des Sauerstoffs der Luft absorbirt.
	K.M.	K.M.	K.M.	K.M.	K.M.	K.M.
Trockenes Holz	4000	4,70	9,40	0,68	5,38	10,08
Holz mit 0,30 Wassergehalt	3000	3,29	6,58	0,84	4,13	7,42
Holzkohlen	7000	7,64	15,28	—	7,64	15,28
Getrocknete Lohkuchen .	3400	4,53	9,06	0,68	5,21	9,74
Lohkuchen m. 0,30 Wasser	2400	3,17	6,34	0,84	4,01	7,18
Trockener Torf mit 0,05 Asche	5300	5,68	11,36	0,65	6,33	12,01
Torf mit 0,30 Wasser	3700	3,98	7,96	0,82	4,80	8,78
Torfkohle mit 0,20 Asche	6400	7,10	14,20	—	7,10	14,20
Kohle von mittlerer Güte	8000	8,35	16,70	0,58	8,93	17,28
Kokes mit 0,02 Asche	7900	8,70	17,40	—	8,70	17,40
Kokes mit 0,15 Asche	6800	7,55	15,10	—	7,55	15,10

208. Wenn man an einem und demselben Orte den Preis der verschiedenen Brennmaterialien, sowie das Gewicht der verschiedenen Maße kennt, wenn die Brennmaterialien nicht nach dem Gewicht verkauft werden, so wird man ihre wirklichen Werthe mittelst ihrer Wärmeeffekte leicht bestimmen können. Zu Paris z. B., wo jetzt in dem Brennmaterialmagazin die 1000 Kilogr. Steinkohlen 56 Frcs., das Holz 50 Frcs., Kokes, das gehäufte Hektoliter von 35 Kilogr. 2 Frcs. und Holzkohlen 20 Frcs. 100 Kilogr. kosten, beträgt der Preis von 1000 Wärmeeinheiten:

Für Steinkohle . $\dfrac{0{,}056 \cdot 1000}{8000} = 0{,}0070$ Frcs.

" Holz . . . $\dfrac{0{,}05 \cdot 1000}{3000} = 0{,}0170$ "

" Kokes . . . $\dfrac{2 \cdot 1000}{35 \cdot 7000} = 0{,}0081$ "

" Holzkohlen . $\dfrac{0{,}20 \cdot 1000}{7500} = 0{,}0266$ "

Es ist demnach zu Paris die Feuerung von Steinkohlen die wohlfeilste von allen. Die Kokesfeuerung ist wohlfeiler als die Holzfeuerung und die Holzkohlenfeuerung ist die theuerste von allen.

209. Man beschäftigt sich in Paris damit, die Leuchtgasfeuerung einzuführen, der Preis von 0,30 Frcs. das Kubikmeter, wofür das Gas den Consumenten geliefert wird, macht die Sache möglich. Betrachtet man das Gas als Kohlenwasserstoffgas HC^2, so beträgt seine Dichtigkeit 0,59; das Gewicht des Kubikmeters würde 1,3 Kilogr. • 0,59 = 0,76 Kilogr.

betragen, und da der Wärmeeffekt 13,000 beträgt, so würden 1000 Wärmeeinheiten kosten:

$$0{,}30 \cdot \frac{1000}{0{,}76} \cdot 13{,}008 = 0{,}0307.$$

Es ist demnach sein Preis wenig von dem der Holzkohlen verschieden und in den Küchenöfen würde die Differenz durch die Leichtigkeit die Intensität des Heerdes zu verändern, die Feuerung augenblicklich anzuzünden oder auszulöschen, mehr als ausgleichen; es ist dies aber eine Frage, auf welche wir später zurückkommen.

210. Die Kenntniß von dem Wärmeeffekt der Körper gestattet in allen Fällen die Berechnung der zur Hervorbringung eines gegebenen Effekts zu verbrennenden Brennmaterialmenge. Diese Wirkung entspricht stets einer Zahl N zu benutzender und folglich zu produzirender Wärmeeinheiten. Bezeichnet man nun den Wärmeeffekt des Brennmaterials mit C, so beträgt die Menge, welche zur Produktion von N Wärmeeinheiten verbrannt werden muß, offenbar $\frac{N}{C}$. In fast allen Fällen kann man aber nur einen gewissen Bruch n von dem Wärmeeffekt des Brennmaterials benutzen und es ist daher die zu verbrennende Menge $= \frac{N}{nC}$.

Wir wollen z. B. annehmen, daß man in der Stunde 10 Kubikmeter Wasser auf 40 Grad erwärmen solle; wendet man nun Steinkohlen an und benutzt $\frac{5}{8}$ von der hervorgebrachten Wärme, so würde die Menge der in der Stunde in dem Kesselofen zu verbrennenden Steinkohlen offenbar gleich sein: $\frac{10{,}000 \cdot 40}{6000} = 66{,}6$ Kilogr.

Wenn es sich darum handelt, in der Stunde 500 Kilogr. Wasserdampf von 100 Grad zu produziren, und wenn die Kesselspeisewasser eine Temperatur von 0 Grad haben, die latente Wärme des Dampfes aber zu 637 angenommen wird, so würde die zu produzirende Wärmemenge sein $500 \cdot 637 = 318{,}500$, und die Menge der in der Stunde unter gleichen Bedingungen wie vorhergehend zu verbrennenden Steinkohlen würde gleich sein $\frac{318{,}500}{6000} = 53{,}08$ Kilogramm.

Wir wollen nun noch schließlich annehmen, daß es sich darum handele, 2000 Kubikmeter Luft in der Stunde auf 50 Grad zu erwärmen und zwar in einer Saugesse, in welcher die gesammte Luft benutzt ist, und daß man dazu Holz mit 0,30 Wasser benutzen wolle. Da nun das Gewicht eines Kubikmeters Luft 1,3 Kilogr. beträgt, so würde das Gewicht der zu erwärmenden Luft $20{,}000 \cdot 1{,}3 = 26{,}000$ Kilogr. betragen. Da die Wärmekapazität der Luft fast 0,24 ist, so würde $N = 26000 \cdot 0{,}24 \cdot 50 = 312{,}000$, und die Menge des zu verbrennenden Holzes würde $\frac{312000}{3000} = 104$ Kilogramm sein.

Elftes Kapitel.

Temperaturen, welche durch Verbrennung verschiedener Brennmaterialien hervorgebracht werden.

211. Wenn man ein Brennmaterial ununterbrochen in einem verschlossenen Heerde oder Ofen verbrennt, so erhebt die entwickelte Wärme auch nach und nach die Temperatur des Ofengemäuers. Nach Verlauf einer gewissen Zeit entsteht aber eine bestimmte Temperatur, die für die Oberfläche des Brennmaterials, für die innere Ofenoberfläche und für die Gase constant ist, und diese Temperatur ist das Resultat der durch das Brennmaterial erzeugten Wärmemenge, vertheilt zwischen den Gasen, die von der Verbrennung und von dem Stickstoff der eingeströmten Luft herrühren, vorausgesetzt, daß man die durch die Ofenmauern mitgetheilte Wärme unberücksichtigt läßt. Unter den hier angegebenen Umständen und die bei den im Hüttenwesen angewendeten Oefen stets vorhanden sind, erlangt man die Temperatur des Ofens, wenn man den Wärmeeffekt des Brennmaterials mit der Summe des Gewichts der ausströmenden Gase, ein jedes durch die entsprechende Wärmekapazität multiplizirt, dividirt. Dieses Prinzip würde nicht richtig sein, wenn sich über dem Heerde ein Körper von einer konstant niedrigern Temperatur befände, z. B. ein Dampfkessel, da dieser Körper einen gewissen Theil der von dem Ofen ausstrahlenden Wärme absorbiren würde.

212. Man könnte zuvörderst einen annähernden Werth der gesuchten Wärme unter der Annahme erlangen, wenn man annimmt, daß die Gase, zwischen denen die erzeugte Wärme sich theilt, dieselbe Wärmekapazität besitzen wie die Luft und wenn man für das Gewicht dieser Gase die der zur Verbrennung angewendeten Luft annimmt. Da z. B. für Steinkohle von mittlerer Beschaffenheit das zur Verbrennung von 1 Kilogr. erforderliche Luftvolum gleich 8,30 Kubikmeter beträgt, so würde sein Gewicht $8{,}30 \cdot 1{,}3 = 10{,}79$ Kilogr. sein, und dessen Aequivalent im Wasser $10{,}79 \cdot 0{,}24 = 2{,}59$, und es würde folglich die Temperatur gleich sein: $\frac{8000}{2{,}59} = 3210$ Grad. Wenn man nun zweimal mehr Luft anwendete, so würde die Temperatur nur 1605 Grad betragen. Es giebt aber diese Methode nur eine Annäherung, weil man die von dem produzirten Wasserdampf absorbirte Wärmemenge, die Unterschiede der Wärmekapazitäten der Gase, und die Gewichtszunahme der Luft durch Umwandlung des Sauerstoffs in Kohlensäure unberücksichtigt läßt.

213. Das allgemein angenommene Verfahren besteht darin, das Gewicht des Stickstoffs, des freien Sauerstoffs, der Kohlensäure, des Kohlenoxyds und des Wasserdampfes zu bestimmen, indem sich zwischen diesen die erzeugte Wärme theilt, eine jede von diesen Gewichtsmengen mit der Wärmekapazität zu multiplizíren und die entwickelte Wärmemenge mit der Summe dieser Produkte zu dividiren. Da aber diese Berechnungen sehr langwierig sind, so hat sie der Verfasser abzukürzen gesucht, indem er im

Voraus für Kohlenstoff, Wasserstoff und Kohlenoxyd die durch die Verbrennung produzirten Aequivalente an Wasser zu bestimmen suchte, indem er nacheinander annahm, daß die Verbrennung durch reinen Sauerstoff, durch ein zur vollständigen Verbrennung nur hinreichendes Luftvolum und endlich bei einer doppelten Luftmenge stattfand.

214. Für Kohlenstoff und reinen Sauerstoff ist die zur Verbrennung von 1 Kilogr. Kohlenstoff erforderliche Sauerstoffmenge gleich $\frac{72,73}{27,27} = 2,67$ und es wird das Gewicht der gebildeten Kohlensäure sein $1 + 2,67 = 3,67$; da nun die Wärmekapazität der Kohlensäure 0,2164 ist, so wird das gesuchte Aequivalent sein $3,67 \cdot 0,2164 = 0,79$.

Wenn der Kohlenstoff mit Luft verbrannt wird und das Gewicht des Sauerstoffs 2,67 ist, so wird das Gewicht des Stickstoffs $= \frac{2,67 \cdot 77}{23} = 8,88$; es muß daher sein Aequivalent an Wasser $8,88 \cdot 0,244 = 2,60$ und folglich das Wasseräquivalent der Kohlensäure und des Stickstoffes $= 0,79 + 2,16 = 2,95$ sein.

Wenn die Hälfte des Sauerstoffs der Verbrennung entginge, so müßte man dem Gewicht der Gase 2,67 Kilogr. Sauerstoff und 8,88 Kilogramm Stickstoff hinzufügen, und das gesammte Aequivalent würde $2,95 + 2,67 \cdot 0,2182 + 2,16 \cdot 0,244 = 5,69$ sein.

215. Für reinen Wasser- und Sauerstoff wird, da 1 Kilogr. Wasserstoff 9 Kilogr. Wasserdampf produzirt und da die Wärmekapazität des Wasserdampfes 0,475 ist, das Aequivalent $9 \cdot 0475 = 4,275$ sein.

Wenn die Verbrennung mit Luft erfolgt, so wird das Gewicht des Stickstoffs $\frac{8 \cdot 77}{23} = 26,7$ Kilogramm sein, sein Aequivalent $26 \cdot 7 \cdot 0,244 = 6,51$ und das gesammte Aequivalent $4,275 + 6,51 = 10,785$.

Wenn nur die Hälfte von dem Sauerstoff verbraucht wird, so muß man die vorhergehende Zahl der Aequivalente des Sauerstoffs und des Stickstoffs hinzufügen. Man würde auf diese Weise haben $10,785 + 8 \cdot 0,2182 + 6,51 = 19,04$.

216. Endlich wird für das Kohlenoxyd, da dieses Gas aus 0,4286 Kohlenstoff und 0,5714 Sauerstoff besteht, das Gewicht des Sauerstoffs, welches zur Umwandlung in Kohlensäure absorbirt ist, 0,5714 sein und das Gewicht der gebildeten Kohlensäure 1,5714, deren Aequivalent an Wasser 0,34 ist.

Wenn die Verbrennung mit nur dem hinreichenden Volum Luft erfolgt, so muß man der vorhergehenden Zahl das Aequivalent des Stickstoffs hinzufügen; das Gewicht des Stickstoffs ist $\frac{0,5714 \cdot 77}{23} = 1,90$; sein Aequivalent ist $1,90 \cdot 0,244 = 0,46$ und das gesammte Aequivalent wird $0,34 + 0,46 = 0,80$ sein.

Nimmt man an, daß das doppelte Volum Luft angewendet worden, so müßte man offenbar der letztern Zahl das Aequivalent des Stickstoffs 0,46 und des Sauerstoffs $0,5714 \cdot 0,2182 = 0,124$ hinzusetzen und man wird für das gesammte Aequivalent $0,80 + 0,4,46 + 0,124 = 1,384$ erhalten.

217. Wenn man demnach einen von den erwähnten Körpern mit reinem Sauerstoff oder in der Luft, jedoch nur mit hinreichendem Volum, oder mit einem doppelten Volum Luft verbrennt, so sind die Aequivalente der Gase, zwischen denen die Wärme sich vertheilt, an Wasser:

für den Kohlenstoff .	0,79	2,95	5,69
„ „ Wasserstoff .	4,27	10,78	19,04
„ das Kohlenoxyd .	0,34	0,80	1,38

218. Mittels dieser Zahlen wird es sehr leicht, die durch die Verbrennung verschiedener Brennmaterialien hervorgebrachte Temperatur zu berechnen. In Beziehung auf den Wasserstoff bleibt aber die wichtige Bemerkung zu machen, daß die latente Wärme des gebildeten Wasserdampfes nicht in die aus der Verbrennung hervorgehenden Wärme berücksichtigt worden ist, so daß sie von dem Wärmeeffekt abgezogen werden muß, der sich alsdann auf

$$34{,}462 - 9 \cdot 550 = 29{,}512 \text{ reduzirt.}$$

Unter den drei angenommenen Verhältnissen sind daher die hervorgebrachten Temperaturen folgende:

Für den Kohlenstoff	8000 :	0,79	=	10126°
	8000 :	2,95	=	2715°
	8000 :	5,69	=	1406°
„ „ Wasserstoff	29512 :	4,27	=	6903°
	29512 :	10,78	=	2736°
	29512 :	19,04	=	1541°
„ das Kohlenoxyd	2400 :	0,34	=	7059°
	2400 :	0,80	=	3000°
	2400 :	1,38	=	1739°

219. Bei trocknem Holze, welches 0,50 Kohlenstoff, 0,01 Wasserstoff, 0,46 Wasser, 0,01 Stickstoff und 0,02 Asche enthält und welches durch Luft verbrannt wird, dessen Sauerstoff in Kohlensäure verwandelt ist, hat man als Aequivalent des Wassers:

Kohlenstoff .	0,50 · 2,95	=	1,4750	1,80
Wasserstoff .	0,01 · 10,78	=	0,1078	
Wasser . .	0,46 · 0,475	=	0,2185	
Stickstoff .	0,01 · 0,244	=	0,0024	
Asche . .	0,02 · 0,20	=	0,0040	

Die Temperatur würde $= \frac{2495}{1,80} = 2330$ Grad sein. Wenn die Hälfte der Luft der Verbrennung entgeht, so würde das Aequivalent 3,2 und die Temperatur 1340 Grad sein.

Wenn das Holz 0,30 Wasser enthält, so wird im erstern Fall das Aequivalent gleich sein $1,80 \cdot 1,70 + 0,30 \cdot 0,475 = 1,38$; im zweiten Falle würde es $3,20 \cdot 0,70 + 0,30 \cdot 0,475 = 2,38$ sein. Der Wärmeeffekt würde betragen $4295 \cdot 0,7 = 3006,5$ und es würden folglich die Temperaturen 2166 und 1263 Grad sein.

220. Durch ähnliche Berechnungen erhält man die nachstehenden Resultate, wobei man annimmt, daß die Verbrennung durch nur hinreichende oder durch doppelte Luftvolumina stattfinde:

Trocknes Holz		2412	1340
Holz mit 030 Wassergehalt . .		2166	1263
Holzkohle mit 0,07 Wasser und 0,07 Asche		2774	1387
Trockner Torf mit 0,05 Asche . .		2484	1405
Torf mit 0,20 Wasser . . .		2350	1336
Steinkohle von mittler Qualität .		2800	1487
Kokes mit 0,05 Asche . . .		2755	1432
Kokes mit 0,15 Asche . . .		2735	1428

221. Die auf diese Weise berechnete Temperatur der Oefen und Heerde setzt nothwendig die angenommene Bedingung voraus, daß kein wesentlicher Wärmeverlust durch die innere Oberfläche der Oefen stattfindet und daß folglich diese Oberfläche im Wesentlichen die Temperatur des Brennmaterials hat.

Dieses Verhältniß findet bei den meisten im Hüttenwesen angewendeten Oefen statt, allein es ist dies nicht der Fall, wenn der erwärmte Körper sich über dem glühenden Brennmaterial in einer weit niedrigeren Temperatur befindet und folglich viel Wärme absorbirt, wie bei den Dampf-Generatoren; die Temperatur der Oefen oder Heerde ist alsdann eine weit geringere.

222. Um den Einfluß der Asche bei Berechnung der Temperatur der Oefen zu bestimmen, haben wir angenommen, daß sie keine andere Wirkung habe, als das wirkliche Gewicht des Brennmaterials zu vermindern und eine gewisse Wärmemenge zu absorbiren. Sie hat aber auch eine andere Wirkung, die sich nicht berechnen läßt; indem sie sich auf der Oberfläche des Brennmaterials anhäuft, bedeckt sie dasselbe entweder mit Staub oder einer Art Firniß, wodurch die unmittelbare Berührung des Sauerstoffs der Luft mit dem Brennmaterial verhindert und die unnütze Menge der Luft, welche den Heerd durchströmt, vermehrt wird. Dadurch wird ein Theil des Brennmaterials der Verbrennung entzogen und der daraus hervorgehende Verlust ist beträchtlich.

---

223. Auf den ersten Blick scheint es, als koste die Luft nichts und als könne die Verbrennung in dieser Beziehung ohne Ausgaben bewirkt werden; allein dies ist nicht der Fall, weil eine gewisse Kraft erforderlich ist, um die Luft zum Brennmaterial gelangen zu lassen. Diese Kraft wird entweder durch Maschinen hervorgebracht, welche die Luft in den Ofen treiben oder die verbrannte Luft ansaugen oder sie wird durch Essen hervorgebracht, welche die verbrannte Luft bei einer mehr oder weniger höhern Temperatur ausströmen läßt. Es findet daher bei allen Feuerungs-Apparaten ein gewisser Wärmeverlust statt, entweder direkt, wenn die Verbrennung durch das Ansaugen einer Esse, und indirekt, wenn die Verbrennung durch einen saugenden oder blasenden Ventilator erfolgt. Es wird demnach nicht die ganze Wärme benutzt. Es giebt jedoch gewisse Einrichtungen von Essen mit einem starken Zuge, in denen die verbrannte Luft bei gewöhnlicher Temperatur ausströmen kann. Wir kommen auf diese Frage, wenn wir von den Essen und dem mechanischen Zuge reden, speciell zurück.

Gewöhnlich bezeichnet man mit dem Namen „verbrannte Luft" die Gase, welche aus der Verbrennung eines Körpers durch die Luft entstehen; ob-

gleich dieser Ausdruck sehr unbestimmt ist, so behalten wir ihn dennoch bei, weil er einmal angenommen ist und weil er die Sprache vereinfacht.

224. Wir wollen uns nun mit den Bewegungsgesetzen der Gase beschäftigen. Die Kenntniß derselben ist zur Einrichtung der Heiz- und Ventilationsapparate unerläßlich; denn bei allen, sei ihr Zweck welcher er wolle, muß stets in Bewegung zu setzende Luft dabei sein. Die Bewegungen der Luft werden entweder durch einen Druck in Folge mechanischer Wirkung oder durch die aufsteigende Kraft der erhitzten Luft bewirkt.

Zweites Buch.

Das Ausströmen der verdichteten Gase.

Wir werden hier nach einander das Ausströmen der Gase durch Oeffnungen in dünnen Wänden unter geringem und unter bedeutendem Druck, dann durch Ansätze und durch cylindrische und anders geformte Röhren, untersuchen und wir werden diesen Theil unsrer Arbeit mit der Untersuchung der Apparate beschließen, welche die Ausströmungsgeschwindigkeit der Gase messen.

Erstes Kapitel.

Das Ausströmen der Gase durch schwachen Druck durch eine Oeffnung in dünner Wand.

225. Um die Fragen, um die es hier sich handelt zu verstehen, müssen wir uns eine, an ihren obern Theil geschlossene und unten offene Glocke denken, die in einem Wasserbehälter eingetaucht ist, und irgend ein Gas enthält. Das Gas wird wegen des Gewichts der Glocke einen höhern Druck als der der Athmosphäre ist, unterworfen sein, und der Ueberschuß des Drucks könnte durch ein Wasser- oder Quecksilbermanometer gemessen werden. Wenn man nun eine Oeffnung an der Glocke aufschließt, so wird das Gas ausströmen, die Glocke wird sinken und der Druck des Gases wird während des Niedergangs im Wesentlichen derselbe bleiben. Es ist leicht, diesen Druck nach der Höhe des Wassers zu bestimmen; denn wenn P das Gewicht der Glocke in Kilogrammen und S den Querschnitt in Quadratdecimetern bezeichnet, so wird das Verhältniß von P zu S die Belastung in Wasserdecimetern, d. h. den Höhenunterschied, welches ein auf der Glocke angebrachtes Wassermanometer angiebt, ausdrücken.

236. Um die Ausströmungsgeschwindigkeit eines Gases im Verhältniß zu den Druck, den es zu tragen hat, zu erlangen, so wie auch den des Raumes, in welchen es ausströmt, bestimmen zu können, hat man die Gase als Flüssigkeiten gedacht. Nun hat man aber für eine Flüssigkeit mit konstantem Niveau in einem offnen Gefäß mit großem Querschnitt

und in Beziehung auf die Oberfläche der Ausströmungsöffnung, durch die Erfahrung gefunden, daß die Geschwindigkeit der Flüssigkeit diejenige ist, die ein Körper annehmen würde, der von einer Höhe gleich der Entfernung des Mittelpunktes der Oeffnung im Niveau der Flüssigkeit und im Allgemeinen von einer Höhe herabfallen würde, die gleich einer ausströmenden Säule der Flüssigkeit ist, welche dem Druck auf die Oeffnung das Gleichgewicht erhält, wobei es gleichgültig ist, auf welche Weise der Druck hervorgebracht ist. Die Ausströmungsgeschwindigkeit v wird alsdann durch die Formel dargestellt

$$v = \sqrt{2gP}, \ldots\ldots \text{(A)}$$

P ist dabei der Druck auf die Oeffnung nach der Höhe der Flüssigkeit oder des Gases, welches ausströmt.

227. Unter der Annahme, daß diese Formel auf alle Flüssigkeiten anwendbar sei, folgt daraus, daß unter demselben Druck die Gase unter weit größern Geschwindigkeiten ausströmen als die Flüssigkeiten, denn die Werthe von P stehen in umgekehrtem Verhältniß zu den Dichtigkeiten. So sind z. B. für Luft und Wasser von 0 Grad und unter dem Druck von 0,76 Meter, die Werthe von P in dem Verhältniß von 1 zu 0,0013, und die Geschwindigkeiten in dem von 27,73 zu 1. Nimmt man nun an, daß Luft bei 0 Grad nach und nach unter Wasserdruck von

0,10 Meter 0,01 M. 0,001 M. 0,0001 M.

ausströmt, so werden die Ausströmungsgeschwindigkeiten sein:

38,78 Meter. 12,19 M. 3,88 M. 1,22 M.;

während die Ausströmungsgeschwindigkeiten des Wassers unter gleichem Druck sein würde:

1,4 Meter 0,44 M. 0,14 M. 0,044 M.

228. Nimmt man nun an, daß ein Gas wie eine Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit ausströme, und man bezeichnet mit B den Druck des Gases, mit b den äußern Druck, mit t die Temperatur, und mit d die Dichtigkeit des Gases, so findet man

$$P = \frac{(B-b) \cdot 13{,}59 \cdot 0{,}76\,(1 + a\,t)}{0{,}0013\ B\ d}$$

und indem man für 2 g seinen Werth von 19,62 substituirt, hat man

$$o = \sqrt{{}_2 g P} = 395 \sqrt{\frac{B-b}{B\,d}\,(1 + a\,t)} \quad \ldots\ldots \text{(B)}$$

Es folgt aus dieser Formel, daß v sehr langsam mit B, d. h. mit dem Druck, den das Gas trägt, steigt, denn wenn man annimmt B = 2 b, (B—b); so wird B = 0,5 und für B unendlich genommen, wird dieser Bruch gleich 1. Es wird demnach von einem Ueberschuß des Drucks gleich einer Atmosphäre bis ins Unendliche die Ausströmungs-Geschwindigkeit von 0,707 zu 1 gesteigert. Dieser geringe Geschwindigkeitsunterschied entsteht aus der Zunahme der Dichtigkeit der Gase, die dem gesammten Druck proportional ist. Die fast unzusammendrückbaren Flüssigkeiten strömen mit Geschwindigkeiten aus, die weit schneller zunehmen, denn sie verhalten sich wie die Quadratwurzeln des Drucks und haben folglich keine Grenzen.

229. Die Gewichte der ausgeströmten Gase verändern sich aber nach andern Gesetzen als die Geschwindigkeiten und folglich auch als die Volumina. Bezeichnet man mit S die Oberfläche der Oeffnung; mit Q und

p das Volum und das Gewicht des in 1 Sekunde ausgeströmten Gases und mit D das Gewicht eines Kubikmeters verdichtetes Gas, so würde man offenbar haben; $Q = S\ v$, und $p = S\ v\ D$, und da $D = \frac{1{,}3 \text{ Kilogr. d. } B}{0{,}76\,(1 + a\,t)}$, wobei B in der Höhe einer Quecksilbersäule ausgedrückt wird, so findet man für das Gewicht p:

$$p = 675 \sqrt{\frac{(B = b)\ Bd\ .\ S.}{1 + a\,t}}$$

Es nimmt demnach das Gewicht des ausgeströmten Gases fortwährend mit dem Druck zu; und es würde wesentlich im Verhältniß des Drucks stehen, wenn b im Verhältniß zu B sehr klein wäre.

230. Bei allen Versuchen, die man zur Berichtigung der Formel B gemacht hat, wurde das Volum des ausströmenden Gases während einer gewissen Zeit des Sinkens der Glocke gemessen, man leitete daraus das während einer Sekunde ausgeströmte Volum ab, und man verglich dieses Volum mit dem durch die nachstehenden Formeln gegebenen

$$Q = v.\ S;\ \text{oder}\ Q = S \sqrt{2gP}\ .\ .\ .\ (C).$$

Diese Versuche haben gezeigt, daß der beobachtete Werth von Q stets kleiner ist, als der durch die Formel (B) abgeleitete, und man hat erkannt, daß innerhalb gewisser Grenzen des Drucks und vier Oeffnungen von gleicher Beschaffenheit das wirkliche Volum gleich einem konstanten Bruch φ des berechneten Volums sei. Indem man nun mit Q′ das erste und mit Q das zweite bezeichnet, so hat man die Formel aufstellen können:

$$Q' = \varphi Q = \varphi S \sqrt{2gP}.$$

231. Der Faktor φ könnte als auf die Geschwindigkeit oder auf den Querschnitt einwirkend angesehen werden. Für Flüssigkeiten ist vollständig erwiesen, daß er sich auf den Querschnitt des Strahls an den Ausgang der Oeffnung anwenden läßt, ein Querschnitt, welcher eine Contraktion erleidet, die daher rührt, daß die Flüssigkeit gegen die Oeffnung in allen Richtungen herbeiströmt. Newton hat die Dimensionen des zusammengezogenen Strahls gemessen und diese Messung ist von mehreren Physikern und zuletzt von Poncelet und Lebros wiederholt. Es folgt aus diesen Versuchen, und hauptsächlich aus den letzten, daß die Contraktion in einer Entfernung von der Oeffnung erfolgt, die wesentlich gleich der Hälfte des Durchmessers dieser Oeffnung ist und daß die Contraktion fast den Ausflußverlust darstellt.

232. Das Vorhandensein der Geschwindigkeit, die von dem Druck in dem zusammengezogenen Strahl herrührt, ist für den Theil des Strahls berichtigt, wenn die Oeffnung in einer senkrechten Wand vorhanden ist. Wenn nun ein Wasserstrahl unter den angegebenen Umständen ausfließt, und man bezeichnet mit h den Druck über der Oeffnung, mit a die Entfernung von dem Mittelpunkt der Oeffnung bis zu einer darunter befindlichen Ebene, mit x und y die Coordinaten eines Punktes der von dem Strahl beschriebenen Curve, so hat man

$$g = a - \frac{gt^2}{2};\ x = vt;\ \text{daher}\ x^2 = \frac{2\,v^2\ (a-y)}{g},$$

welches die Gleichung für eine Parabel ist. Substituirt man für v^2 seinen Werth mit $2\,g\,h$, so findet man

$$x^2 = 4\,h\,(a - y).$$

Diese Gleichung giebt für $y = 0$, oder für die Länge des getragenen Strahls $x = 2\sqrt{a\,h}$. Bei Bestimmung der Länge des Strahls durch Versuche fand Bossut für das Verhältniß des berechneten Werthes zu dem beobachteten Werthe 0,97 und 0,98; später fand Micholetti für dieses Verhältniß 0,993 und 0,998.

233. Für das Wasser ist demnach bewiesen, daß der Ausflußverlust nur von der Contraktion des Strahls herrührt und daß in allen diesen Punkten die Ausströmungsgeschwindigkeit gleich der von dem Druck herrührenden ist. Man kann nicht zweifeln, daß dasselbe Verhältniß auch bei den Gasen stattfinde, denn sie verhalten sich stets, wenigstens bei schwachem Druck, wie gleich dichte Flüssigkeiten. Die Geschwindigkeitszunahme durch kurze, cylindrische Ansätze läßt sich nur durch eine Contraktion des Strahls beim Ausgange aus dem Gefäß erklären, und die Uebereinstimmung der durch Versuche und durch Berechnung erlangten Resultate läßt, wie wir weiter unten sehen werden, keinen Zweifel über die Thatsache der Contraktion des Strahls und eben so wenig über die wichtige Thatsache, daß diese Contraktion vollständig die Ausflußverminderung darstellt. Wir wollen nun die Erfahrungsresultate mittheilen, welche über den Ausfluß verdichteter Gase erlangt sind.

234. Die Versuche von Girard. — Diese Versuche wurden mittels eines Gasometers von 0,3631 Quadratmeter Querdurchschnitt angestellt. Das Ausströmen ist durch eine Oeffnung von 0,01579 Meter Durchmesser, in einer Wand von 0,002 Meter Dicke, unter einem Wasserdruck von 0,03383 Meter erfolgt; die Temperatur ist nicht angegeben. Das in der Sekunde ausgeströmte Luftvolum betrug 0,003289 Kubikmeter; da der Oeffnungs-Querschnitt 0,0001955 Quadratmeter betrug, so belief sich die Ausströmungsgeschwindigkeit auf 16,23 Meter. Nimmt man nun an, daß die Temperatur 15 Grad und der atmosphärische Druck 0,76 Meter war, so belief sich die von dem Druck veranlaßte Geschwindigkeit auf 1,23 Meter. Man kann daraus einen Correktions-Coëffizienten von 0,725 ableiten.

235. Derselbe Versuch wurde mit Leuchtgas wiederholt. Das in einer Sekunde ausströmende Gasvolum betrug 0,004422 Kubikmeter; und folglich betrug die Ausströmungsgeschwindigkeit 22,62 Meter. Da die Dichtigkeit des Leuchtgases 0,555 beträgt, so ist die von dem Druck herrührende Ausströmungsgeschwindigkeit 31,17 Meter und der Correktions-Coëffizient folglich 0,725.

Man kann aus diesen Versuchen in Beziehung auf den Correktions-Coëffizienten für eine Oeffnung in einer dünnen Wand keine Folgerungen machen; sie weisen aber die Genauigkeit des angegebenen Gesetzes nach, daß bei gleichem Druck die Ausströmungs-Geschwindigkeiten im umgekehrten Verhältniß zu den Quadratwurzeln der Dichtigkeit der Gase stehen.

236. Im Jahre 1822 machte der schwedische Physiker Lagerjhelm zahlreiche Versuche über das Ausströmen atmosphärischer Luft durch Oeffnungen in dünnen Wänden und über das Ansaugen, welches am Ende einer

kurzen Röhre, die in eine Platte mit einer Oeffnung ausläuft, durch welche die Luft unter verschiedenem Druck eindringt.

237. Der Apparat bestand aus einer cylindrischen Glocke von Kupferblech, welche in einem mit Wasser angefülltem Gefäße steckte. Eine weite Röhre öffnete sich unter der Glocke und über dem Wasserspiegel, ging durch das Gefäß und erhob sich senkrecht bis zu einer gewissen Höhe, in welcher sie durch eine dünne Metallplatte mit einer Oeffnung verschlossen war. Der überschüssige Gasdruck wurde durch ein Wassermanometer gemessen, und das Volum des ausgeströmten Gases durch das Senken der Glocke. Die Durchmesser der Ausströmungsöffnung waren 0,012 Meter, 0,024 Meter und 0,033 Meter; der manometrische Druck betrug 0,056 und 0,479 Meter der Wassersäule. Der mittlere Correktions-Coëffizient belief sich auf 0,62 Meter; er hat aber von 0,58 bis 0,70 geschwankt. Diese Schwankungen sind aber viel zu bedeutend, als daß man annehmen darf, die Versuche seien mit der erforderlichen Sorgfalt angestellt, und daß man daraus für den Correktions-Coëffizienten eine sichere Zahl ableiten könnte.

238. Im Jahre 1826 machte der bekannte Bergingenieur D'Aubuisson neue Untersuchungen über das Ausströmen der verdichteten Luft mittels eines Apparates, der Aehnlichkeit mit dem so eben erwähnten hatte. Die die verdichtete Luft umschließende Glocke hatte 0,65 Meter Durchmesser und 0,80 Meter Höhe. Die Oeffnungen waren in eine Weißblechtafel eingebohrt und der Durchmesser schwankte von 0,01 bis 0,03; der Druck von 0,028 bis 0,144 Meter; der Correktions-Coëffizient belief sich von 0,63 bis 0,67 und sein aus zwanzig Versuchen abgeleiteter mittlerer Werth war 0,65.

239. Neue Versuche. — Der Verfasser hat den Apparat benutzt, der in den Figg. 3 und 4 in zwei auf einander senkrecht stehenden Durchschnitten abgebildet worden ist.

A ist eine cylindrische Glocke von galvanisirtem oder verzinktem Eisenblech von 0,80 Meter Höhe, 0,615 Meter Durchmesser und 0,2970 Quadratmeter Querschnitt, oben geschlossen und unten offen. Sie wird von einer Schnur gehalten, die über zwei sehr bewegliche messingene Rollen G und H läuft, und an deren Ende ein Gegengewicht P hängt. Diese Glocke steckt in einem mit Wasser angefülltem Gefäß B, welches ebenfalls aus galvanisirtem Eisenblech besteht und 0,72 Meter Durchmesser und 0,80 Meter Höhe hat. In der Mitte dieses Gefäßes ist eine Röhre CDLM von 0,12 Meter Durchmesser angebracht, welche sich über dem Wasserspiegel in dem Gefäß öffnet und sich äußerlich erhebt. Ihr Ende ist verschlossen und mit zwei Hülsen versehen, in denen man ein Thermometer und ein Wassermanometer anbringt. Eine Seitenhülse N dient zur Aufnahme der Röhren, durch welche die Luft ausströmen muß. Seit den ersten Versuchen ist das obere Ende der äußern Röhre rechtwinklich gebogen, Fig. 5, und die freie Oeffnung kann mit einer Kapsel verschlossen werden, die eine Oeffnung von 0,08 Meter enthält, gegen die man mit weichem Wachs Platten mit verschiedenen Oeffnungen anbringen kann. Zu andern Versuchen wird die freie Oeffnung mit einer Kapsel verschlossen, die mit einer Hülse versehen ist (Fig. 6.), in welche man mit Hülfe eines Korkstöpsels Röhren befestigt, durch welche das Ausströmen erfolgen kann. Endlich bringt man in gewissen Fällen am Ende der Ausströmungsröhre eine länglich viereckige Büchse an, die an der Seite und an ihrem Ende mit einer großen Oeffnung

versehen war, auf welcher man mit Löchern versehene Platten befestigte. Auf dem Deckel der Glocke ist ein horizontaler Zeiger K (Fig. 3) angebracht, dessen Ende während seines Niedergangs einen in Centimetern und Millimetern getheilten Maßstab durchläuft. Die Glocke war derart belastet, daß sie während ihres Belastens genau senkrecht blieb. Bei allen Versuchen hat man die Zeit des Sinkens von dem Gasometer auf 0,50 Meter beobachtet, und um alle Irrthümer über das Volum des ausgeströmten Gases zu vermeiden, hat man die Glocke auf der Höhe, in welcher sie den Wasserspiegel durchläuft, visirt oder geaicht, indem man sie umkehrte und mittels eines Gefäßes von bekannter Räumlichkeit mit Wasser füllte. Dieses Volum belief sich auf 0,1485 Kubikmeter.

Die Zeit wurde mit einem Bréguet'schen Zähler gemessen. Seine Bewegung war sehr regelmäßig, aber sein Gang zu schnell; verglich man ihn zwei Stunden lang mit einem Regulator, so fand man, daß die von ihm angegebene Zeit gleich der des Regulators multiplicirt durch 1,008 war.

241. Der überschüssige Luftdruck in der Glocke wurde mittels eines Wassermanometers bestimmt, der mit einem in Centimetern und Millimetern getheilten Maßstab versehen war. Um aber eine größere Genauigkeit zu erlangen, bediente sich der verewigte Péclet eines Wassermanometers mit geneigter Röhre. (Fig. 7.) Es besteht aus einem offenen Gefäß A, welches an seinem Fuß mit einem Röhrenhals versehen ist, in welchem die Glasröhre a b c von 1 Meter Länge von 0,005 Meter Durchmesser eingekittet und an eine senkrechte Platte befestigt, in welche auch ein in Centimetern und Millimetern getheilter Maßstab B C angebracht ist. Dieses Bret ist an ein anderes befestigt, auf welchem das Gefäß A steht, und welches man mittels einer Wasserlibelle D horizontal stellt. Um sich dieses Apparates zu bedienen, muß man das Ende c durch eine Kautschukröhre mit dem Raume in Verbindung bringen, dessen Drucküberschuß über den der äußern Luft man messen will. Vergleicht man die Angaben dieses Instrumentes mit denen eines senkrechten Manometers, so findet man, daß es sehr regelmäßig geht, daß die verdrängte flüssige Säule stets genau auf den Ausgangspunkt zurückkommt und daß 1 Millimeter von seinem Maßstab 0,0000772 Meter Druck, d. h. fast $\frac{1}{13}$ Millimeter entsprach.

242. Wir haben (228) eine sehr einfache Formel gefunden, um die Ausströmungsgeschwindigkeit eines verdichteten Gases, wenn man die Belastung, die es trägt, den äußern Druck und die Temperatur kennt, zu bestimmen. Wenn man aber einen häufigen Gebrauch von dieser Formel macht, und wenn der überschüssige Druck sehr gering ist, so unterscheidet sich B wenig von b, und es ist weit bequemer, diesen Ausdruck in einen andern zu verwandeln, in welchem B — b im Wasser und b in Quecksilber bestimmt ist; man hat alsdann:

$$v = \frac{395}{\sqrt{13,59}} \sqrt{\frac{(B-b)(1+a\,t)}{B'd}} = 107,16 \sqrt{\frac{(B-b)(1+a\,t)}{B\,d}}.$$

243. Während des Niedergangs der Glocke wird der innere Druck B durch Zunahme des unter das Wasser hinabgehenden Theils stets um eine gewisse Größe vermindert. Es würde schwierig sein, den mittlern Druck, welcher dem Volum des ausgeströmten Gases entspricht, zu berechnen; da aber für die Grenze des Falles, die niemals überstiegen ist, und

für einen Ueberschuß des Drucks von 0,042 Meter, der allgemein angewendet worden ist, die Schwankung 0,002 Wasser betrug und die dem äußersten Druck entsprechenden Geschwindigkeiten sich wie die Zahlen 205 zu 200 verhalten, so hat man angenommen, daß die mittlere Geschwindigkeit dem mittlern Druck entspreche.

244. Der atmosphärische Druck wurde bei jedem Versuch mittels eines Fortin'schen Barometers bestimmt; die beobachtete Höhe wurde aber nicht auf 0 Grad zurückgeführt, da diese Correktion unbedeutend ist; wirklich würde eine Höhe von 0,76 Meter, bei 20 Grad beobachtet und auf 0 Grad zurückgeführt sein:

$$0{,}76 \text{ Meter} \cdot \frac{5550}{5570} = 0{,}75727 \text{ Meter};$$

und da die Geschwindigkeiten sich wie die umgekehrten Quadratwurzeln des barometrischen Drucks verhalten, und weil die Quadratwurzeln der Zahlen 0,75727 und 0,76, 0,8717 und 0,8700 sind, so folgt daraus, daß die Geschwindigkeiten in Folge der vorliegenden Correktion etwa in dem Verhältniß von 1 zu 1,002 verschieden sind.

Bei den Versuchen über das Ausströmen der Gase durch Oeffnungen in dünnen Wänden oder durch Röhren ist es von größter Wichtigkeit, die Durchmesser der Oeffnungen mit einer großen Genauigkeit zu messen, vorausgesetzt, daß die Ausströmungsgeschwindigkeiten gleich dem in einer Sekunde ausgeströmten Volum des Gases, dividirt durch die Oberfläche der Oeffnung, sind und daher ein sehr kleiner Irrthum in der Bestimmung des Durchmessers einen weit größern für den Werth der Oberfläche und folglich der Geschwindigkeiten hervorbringt. Der Verfasser hat zuerst eine gewöhnliche Theilmaschine angewendet; die Schraube bewegte ein Okular, welches ein Haar enthielt, das nach und nach mit den beiden Rändern der Oeffnung in Berührung treten mußte; jeder Schraubenumgang war ein bekannter Millimeterbruch und es war die Schraube in 200 gleiche Theile getheilt. Man erlangte auf diese Weise ein sehr genaues Maß; allein Péclet zog es vor, das hier angegebene einfachere Verfahren anzuwenden. Er ließ 4 Lineale von Kupfer, von 0,50 Meter Länge und in Millimeter getheilt anfertigen; die Seiten bestanden aus vollkommen geraden aber nicht parallelen Linien, und die Differenz der äußersten Breiten betrug 5 Millimeter. Es ist nun klar, daß, wenn man eines von diesen Linealen in eine Oeffnung bringt, deren Durchmesser zwischen der größten und der geringsten Oeffnung begriffen ist und zwar das Lineal so weit eingeführt wird, daß dessen Seiten die Ränder der Oeffnung berühren, der Oeffnungsdurchmesser gleich sein muß $\frac{l + n\,(L - l)}{500}$, wobei l und L die Breiten des Lineals und n die Anzahl von Millimetern auf dem Lineal bei der Berührung entsprechen. Die Breiten der Lineale sind von der Maschine genommen, allein sie sind durch ein sehr einfaches Verfahren berichtigt worden, dessen Resultate so genügend waren, daß sie der Verfasser allen andern vorzieht. Die Länge, die man messen sollte, wurde mit einem Zirkel mit Stellschraube und mit sehr feinen Spitzen gemessen und wiederholt auf eine Linie aufgetragen, die auf einen schmalen Papierstreifen gezogen war, die man auf ein messingenes in Millimeter getheiltes Lineal aufgeklebt hatte. Man beobachtete die entsprechenden Längen an einer

gewissen Anzahl von Theilen, sobald sie mit einer genauen Zahl von Millimetern zusammenfielen und nahm alsdann das Mittel von allen Resultaten. Für jede Länge wechselte die Zahl der Versuche von 4 — 6, die Anzahl der Theile von 20—70 und alle Resultate stimmen wenigstens um $\frac{1}{100}$ Millimeter überein; sie zeigen auch nur einen sehr geringen Unterschied gegen die von der Maschine gelieferten Resultate. Der Verfasser hat aber diese Methode befolgt, weil sie keine verwickelte Maschine erfordert und weil ein Zirkel und etwas Sorgfalt dabei hinreichend ist.

246. Der Verfasser hat keine Versuche über Oeffnungen von einem größern Durchmesser von 0,01 gemacht, weil für größere Oeffnungen die Dauer des Ausströmens von dem Luftvolum, welches stets angewendet wurde, zu klein war und nicht mit Genauigkeit gemessen werden konnte. Eben so wenig sind Oeffnungen von einem geringern Durchmesser als 0,02 Meter gemessen, weil man bei denselben auf keinerlei Weise die nothwendige Genauigkeit haben konnte.

247. Die hygrometrische Beschaffenheit der in der Glocke eingeschlossenen Luft ist unberücksichtigt geblieben; nimmt man sie für die höchste Temperatur, die etwa 20 Grad betrug, als gesättigt an, so vermindert der Einfluß des Wasserdampfes die Dichtigkeit der Luft als um fast 5 Zehntausendtheile.

248. Die wirklichen Geschwindigkeiten sind mittels der Formel $v = \frac{0{,}1485}{S \cdot \Theta}$, 0,1485 Meter stellen das Volum des ausgeströmten Gases dar, welches stets dasselbe war, S den Querschnitt der Ausströmungsöffnung und Θ die Dauer der Ausströmung in Sekunden.

249. Der Werth von v wird mit um so größerer Genauigkeit erhalten werden, je kleiner S ist, denn Θ nimmt in dem Maß zu, als S sich vermindert und die Zeit kann sehr leicht mit weniger als einer Sekunde gemessen werden. Die Versuche wurden alle zweimal wiederholt und die Resultate sind nur dann angenommen, wenn sie vollkommen übereinstimmten. Auch überzeugte man sich stets, daß das Gasometer keine Verluste veranlaßte.

250. Es läßt sich aus diesen Resultaten folgern, daß der Correktions-Coëffizient für die Oeffnungen in dünnen Wänden bei großen Oberflächen und schwachem Druck 0,65 sehr nahe steht und daß er sowohl bei runden als auch bei länglich viereckigen Oeffnungen, wesentlich verschieden sind, seien die Halbmesser der Kreise und die Verhältnisse der Seiten übrigens welche sie wollen; der Werth dieses Coëffizienten ist genau derselbe, den d'Aubuisson gefunden hat.

251. Verlust der Belastung beim Ausströmen der Gase durch eine Oeffnung in dünner Wand. — Wir sahen 230, daß beim Ausströmen der Gase das Volum durch die Formel

$$Q = \varphi \cdot S \sqrt{2\,g\,P},$$

gegeben worden ist; es bezeichnet dabei Q das in der Sekunde ausgeströmte Volum, φ den Correktions-Coëffizienten, S den Querschnitt der Oeffnung, und P den Ueberschuß des Druckes in dem Reservoir über den des Mittels, in welches das Gas ausströmt, während der Druck nach der Höhe des zusammengedrückten Gases geschätzt wird. Obwohl φ wahrscheinlich Einfluß auf den Querschnitt hat, so folgt doch in Beziehung auf den Ausfluß alles

derart, als wenn ein Einfluß auf die Belastung vorhanden wäre. Wenn man nun v die mittlere Geschwindigkeit v in dem Querschnitt S nennt, so hat man offenbar $Q = vS$, daher $v^2 = 2gP \cdot \varphi^2$. Wenn nun p die der Geschwindigkeit entsprechende Belastung ist, so hat man auch $v = \sqrt{2gp}$, und es folgt daraus, daß

$$p = \varphi^2 P \text{ und } P - p = p\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1\right) = Ap$$

oder indem man setzt $A = \frac{1}{\varphi^2} - 1$.

Die Differenz $P-p$, welche man den Verlust der Belastung nennt, findet sich auch durch die mittlere Ausströmungsgeschwindigkeit und durch den Correktions-Coëffizienten, welcher der Belastung entspricht, ausgedrückt.

Für eine Oeffnung in dünner Wand und unter einem geringen Druck ist $\varphi = 0{,}65$ wie wir schon oben sahen und es folgt daraus $P-p = 1{,}366\ p$, und $A = 1{,}366$.

252. Einfluß einer innern mit der Ebene der Oeffnung parallelen Oberfläche. — Der Einfluß einer solchen Fläche ist 0, wenigstens wenn die Entfernung größer als 0,1 Meter ist, und eine Oeffnung von 0,006 Durchmesser hat.

253. Einfluß der äußern Oberflächen die senkrecht auf der Ebene der Oberfläche stehen. Wenn man Platten zur Seite einer länglich viereckigen dünnen Wand und senkrecht auf der Oberfläche anbringt, so bemerkt man, daß die Geschwindigkeit mit der Anzahl der Platten zunimmt und der Correktions-Coëffizient 0,65 kann gleich 0,728 werden, wenn die 3 Seiten der Oeffnung mit Platten versehen sind.

254. Einfluß der Beschaffenheit der Oberfläche, in welcher die Oeffnung eingebohrt ist. — Da die Luft in allen Richtungen zur Oeffnung gelangt, so könnte man annehmen, daß die Reibung gegen die Oberfläche der Platte einen Einfluß auf den Correktions-Coëffizienten haben und daß er nach der Beschaffenheit der Oberfläche verschieden sein könnte. Aus den Versuchen geht hervor, daß der Einfluß der Oberfläche sehr gering und wahrscheinlich 0 ist.

255. Oeffnung in einer dünnen Wand angebracht am Ende einer Röhre, deren Durchmesser mit dem der Oeffnung zu vergleichen ist. (Fig. 8.) — Wir werden zeigen, daß wenn eine Oeffnung in dünner Wand am Ende einer Röhre angebracht ist, die einen großen Querschnitt in Beziehung auf die Oeffnungsoberfläche hat, der Contraktions-Coëffizient bei geringen Ueberschüssen des Drucks $= 0{,}65$ und der Coëffizient des Belastungsverlustes $A = 1{,}366$ ist. Sind aber die Durchmesser vergleichbar, so ist der Werth von φ nicht mehr derselbe und es scheint, daß er in dem Maß zunehmen müsse, als der Oeffnungsquerschnitt zunimmt, weil der Coëffizient gleich der Einheit werden muß, wenn der Oeffnungs-Durchmesser gleich dem Durchmesser der Röhre wird.

Es geht jedoch aus der Erfahrung hervor, daß wenn man mit D und d die Durchmesser der Röhre und der Oeffnung nennt, man für die

verschiedenen Werthe von d zu D, die Werthe von φ und $A = \frac{1}{\varphi^2} - 1$ hat, wie die nachstehende Tabelle nachweißt:

Verhältniß d : D	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Werthe von φ	0,65	0,62	0,64	0,66	0,67	0,68	0,74	0,80	0,87	1
Werthe von A	1,366	1,60	1,44	1,30	1,23	1,16	0,83	0,56	0,32	0

Man ersieht aus diesen Zahlen, daß es ein Minimum von φ für d zu D = 0,2 giebt, welches auch durch alle Versuche bestätigt wird.

256. Messung der Dichtigkeit des Leuchtgases in den Fabriken. — Die Formel (B) und (Nro. 228), welche die Ausströmungs-Geschwindigkeit der verdichteten Gase ausdrückt, führt zu einem sehr einfachen und genauen Verfahren zur Bestimmung der Dichtigkeit des Leuchtgases. Für die Gasfabriken hat die Messung, um die es sich handelt, ein großes Interesse; zuvörderst weil die in gleichen Zeiträumen produzirten Gasvolumina, sowie ihre Dichtigkeiten und ihre Leuchtkraft während der Dauer des Prozesses sich nach und nach vermindern, während der Brennmaterial-Verbrauch sich gleich bleibt; es ist daher vortheilhaft, die Destillation der Steinkohle in einem gewissen Moment aufzuhalten. Auch gestattet die mittlere Dichtigkeit des erzeugten Gases eine annähernde Bestimmung von dem Werthe der Steinkohle in Beziehung auf die Gaserzeugung; endlich ist auch die Messung der Dichtigkeit eines und desselben Gases zu verschiedenen Epochen nach seiner Darstellung, eine Dichtigkeit, die wegen der Verdichtung der in den Gasen enthaltenen brennbaren Dämpfe, veränderlich ist, ebenfalls noch ein wichtiges Element für die Verwaltung der Gasfabrik.

257. Das Verfahren, von dem wir hier reden wollen, besteht darin, das Gas in ein kleines Gasometer zu leiten, und die Dauer des Ausströmens von einem gewissen Volum, unter einem gewissen Druck, zu messen. Bezeichnet man das in Kubikmetern ausgeströmte Volum mit Q, die Dauer des Ausströmens in Sekunden mit Θ, die Geschwindigkeit mit v, den Querschnitt der Oeffnung in der dünnen Wand mit S, den Contraktions-Coëffizienten mit φ, den Gesammtdruck, den das Gas erleidet und den äußern Druck mit B und b, die Temperatur mit t und die Dichtigkeit des Gases mit δ, so hat man:

$$Q = \varphi \cdot S \cdot v \cdot \Theta = \varphi S \cdot \Theta \cdot 395 \sqrt{\frac{(B - b)}{B} \; \frac{(1 + a\,t)}{\delta}},$$

eine Gleichung welche giebt

$$\delta = \frac{\varphi^2 \; S^2 \; (395)^2}{V^2} \cdot \Theta^2 \cdot \frac{(B - b)\,(1 + a\,t)}{B} \quad \ldots (1)$$

Nehmen wir an, daß das Volum des ausgeströmten Gases, die Ausströmungsöffnung und der überschüssige Druck stets dieselben bleiben, so würde der Werth von δ werden:

$$\delta = K \cdot \Theta^2 \cdot \frac{1 + a\,t}{B} \quad \ldots (2)$$

wobei K eine konstante Zahl; und es würde daher δ wesentlich im Verhältniß des Quadrats der Ausströmungszeiten sein, indem das Verhältniß 1 + a t : B wenig verschieden ist.

Nimmt man nun an, daß der Ueberschuß des Drucks 0,10 Meter Wasser betrage, daß die Barometerhöhe gleich 0,76 Meter sei und die Temperatur 0 Grad, so findet man (1 + a t): B = 0,0958. Nimmt man die äußern Umstände als die ungünstigsten an t = 20 Grad und t = — 10 Grad; und für die Barometerhöhe 0,74 und 0,78 Meter; so findet man für die Werthe von (1 + at): B, die Zahlen 0,1055 und 0,09335, welche weniger als $\frac{1}{100}$ von derjenigen verschieden ist, die aus den ersten Suppositionen hervorgeht. Man kann daher für das Verhältniß (1 + at): B den Werth von 0,0958 annehmen.

258. Um zu zeigen, wie Zeiträume des Ausströmens mit der Dichtigkeit der Gase verschieden sind, nehmen wir an, daß der Ueberschuß des Drucks 0,10 Meter der Wassersäule, daß das ausgeströmte Volum einen Kubikmeter betrage und daß die Ausströmungsöffnung in der dünnen Wand 0,01 Meter Durchmesser habe.

Nimmt man 0,0958 für den Werth von (1 + a t): B, so findet man für die Gase, deren Dichtigkeiten sind:

1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

die Ausströmungszeiträume.

507″	480″	453″	424″	392″	358″	320″	277″	226″	160″

Man ersieht aus diesen Zahlen, daß eine sehr geringe Differenz der Dichtigkeit durch Versuche leicht nachgewiesen werden kann, da man Ausströmungszeiten von weniger als 1 Sekunde zu beobachten im Stande ist. Man könnte die Differenzen noch weit größer machen, wenn man das Volum des ausgeströmten Gases vermehrte, oder den Durchmesser der Oeffnung verminderte.

259. Da es sehr schwierig ist, den Durchmesser einer kleinen Oeffnung genau zu messen, so könnte man durch Versuche den Werth von K in der Gleichung (2) dadurch bestimmen, daß man das Gasometer mit Luft füllte und die Dauer des Ausströmens von dem bestimmten Volum unter einen angenommenen Druck mißt. Diese Methode würde sicher zu einem genauern Resultate führen, als die direkte Messung des Durchmessers.

Man könnte alle vorhergehenden Berechnungen vermeiden, wenn man jedesmal auf die Luft und auf die Gase unter gleichen Verhältnissen einwirkte; die Dichtigkeiten würden im genauen Verhältniß zu den Quadratwurzeln der Ausströmungszeiten stehen.

260. Will man die doppelten Versuche vermeiden, und eine größere Genauigkeit in Beziehung auf den Faktor (1 + at): B erlangen, so könnte man den Werth dieses Ausdrucks vorher für die Temperaturen und Barometerhöhen zwischen extremen Gränzen für den Ort, wo man operirt, berechnen und die Resultate in einer Tabelle zusammenstellen, welche die Werthe des fraglichen Faktors in den verschiedenen vorkommenden Fällen unmittelbar angeben würde. Man könnte die Temperaturen von 5 zu 5 Grad annehemen, sowie den Barometerdruck von 5 zu 5 Millimetern bestimmen.

261. Man könnte auch einen Apparat einrichten, der zu jedem Augenblick die Dichtigkeit des Gases angiebt. Dieser Apparat würde in einem Blechkasten (Fig. 9) mit einer Seitenwand von Glas bestehen, den man mittels zweier mit hydraulischen Ventilen versehenen Röhren, welche mit der Leitungsröhre des Reinigungsapparates zu dem Gasometer in Verbindung steht, leicht mit Gas anfüllen könnte. Er würde mit einer Kugel von sehr dünnem

Kupferblech von 0,30 bis 0,40 Meter Durchmesser, die verschlossen und mit Luft angefüllt und am Ende eines um eine horizontale Achse beweglichen Hebels aufgehängt wäre, enthalten. An dem andern Ende des Hebels muß ein Gewicht angebracht sein, welches der in der Luft aufgehängten Kugel das Gleichgewicht hält und welches in einen Zeiger auslaufen müßte, der auf einem getheilten Quadranten liegt; ein kleines, unter der Drehungsachse und an dem Hebel angebrachtes Gewicht würde den Zweck haben, das Gleichgewicht unter verschiedenen Neigungen zu erhalten. Der in der Luft horizontale Apparat würde sich um so mehr neigen, je weniger dicht die Gase sind, die ihn umgeben. Bezeichnet man nun mit L die Länge des Hebels von der Wage, durch l die Entfernung des Gewichts p von der Drehungsachse, durch P und P′ das Gewicht der Luftvolumina und der Gase, die gleich dem Volum der Kugel unter gleichen Verhältnissen der Temperatur und des Drucks sich befinden, so würde man offenbar haben:

$$(P - P')\, L = l p \text{ tang. } \alpha; \text{ oder } \frac{P'}{P} = d = 1 - \frac{l\, p}{L\, P} \text{ tang. } \alpha.$$

Nimmt man nun an, daß der Ballon 0,40 Meter Durchmesser habe, so würde P = 0,043; und wenn man annimmt $l\, p = L\, P$, so wird die vorhergehende Gleichung:

$$d = 1 - \text{tangens } \alpha.$$

Das Verhältniß $l\, p = L\, P$ kann zu $l = 0{,}1\, L$ angenommen werden und $p = 4{,}3$ Gramm, und man findet leicht, daß für Neigungen von:

5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°

die Dichtigkeiten der Gase sind

0,91	0,82	0,72	0,63	0,52	0,42	0,28	0,16

Auf diese Weise würde der Apparat eine hinreichende Empfindlichkeit haben. Er müßte jedoch mit der größten Sorgfalt angefertigt, es müßte der Ballon so leicht als möglich und die Drehungsachse ebenfalls möglichst schwach sein.

Man könnte aber den Apparat auch derart einrichten, daß die horizontale Entfernung von dem Aufhängungspunkt zu der senkrechten des Drehungspunktes konstant bliebe; es würde alsdann die Tangente α durch Sinus α ersetzt werden. Diese Einrichtung würde bei Messungen geringer Dichtigkeiten vortheilhaft sein, weil die Neigungsveränderungen den kleinsten Dichtigkeitsveränderungen entsprechen würden und weil die Gränze der Neigung, welche für den hier untersuchten Fall 45 Grad ist, in dem fraglichen Fall 90 Grad betragen würde; es würde aber der Apparat dadurch etwas zusammengesetzter werden.

262. Die hier angegebenen Berechnungen sind nicht vollkommen genau, indem der Werth von B, den wir bei dem zweiten Ausdruck für den Werth von d als konstant angenommen haben, es in der Wirklichkeit nicht ist, und sowohl für die Temperatur als auch für den Druck, dem die Gase unterworfen sind, berechnet werden müßte. Es sind aber diese Veränderungen stets sehr gering und können unter den gewöhnlichen Verhältnissen unberücksichtigt bleiben; denn eine Veränderung von 3 Centimeter in der Barometerhöhe, verbunden mit einer Temperatur-Veränderung von 20

Grad würde bei dem Gewicht desselben Luftvolums nur eine Veränderung von 0,05 hervorbringen. Der einzige wesentliche Nachtheil, den der Apparat veranlassen könnte, würde in Niederschlägen der in dem Gase eingemengten Dämpfe vorhanden sein; dadurch würde das Gewicht des Ballons und auch die Reibung von dessen Drehungsachse vergrößert werden; jedoch würde man diese Niederschläge dadurch vermeiden können, wenn man die Gase nicht in dem Apparat aufbewahrt, sondern wenn man ihn nach jedem Versuch mit Luft füllte.

263. Man könnte auch die nachstehende Vorrichtung anwenden. Neben dem Gasometer müßte eine 3—4 Meter hohe und einige Centimeter weite Röhre angebracht sein, welche unten mit dem Gasometer durch ein mit einem Hahn versehenes Röhrenstück in Verbindung stände, und welche oben durch eine mit einer kleinen Oeffnung versehene Platte verschlossen wäre, die man aber mittels einer über eine feste Rolle gehende Schnur heben oder senken könnte; der untere Theil müßte auch mit einem Manometer in Verbindung gesetzt werden. Um die Dichtigkeit zu messen, müßte man Gas während einiger Augenblicke durch die Röhre strömen lassen, welches durch Oeffnung des Hahns und Hebung der obern Platte bewirkt werden könnte; man würde darauf den Hahn schließen und die obere Platte niederlassen. Der überschüssige Druck des Gases würde bald verschwinden und die Angabe des Manometers würde gleich sein $H (1 - \delta) 0{,}0013$, wobei H die Höhe der Röhre und δ die Dichtigkeit des Gases im Verhältniß zur Luft sein würde. Nimmt man $H = 4$ Meter und $\delta = 0{,}5$ an, so würde der Niveau-Unterschied im Manometer gleich sein 0,00455 Meter; er würde 4,5 Centimeter betragen, wenn man ein Manometer mit geneigter Röhre anwendet, welches den wirklichen Druck verzehnfacht.

Zweites Kapitel.

Ausfluß der Gase unter starkem Druck durch Oeffnungen in dünnen Wänden.

264. Bei dem bis jetzt Gesagten haben wir nothwendig vorausgesetzt, daß der den Ausfluß veranlassende Druck nur sehr gering sei und daß er unter 1 Hunderttheil des atmosphärischen stehe.

Ist der Druck bedeutender, so kann man, da die Gase sehr compressibel sind, und da sie durch die Volumveränderungen große Temperatur-Schwankungen erleiden können, a priori annehmen, daß die bei geringen Belastungen erlangten Resultate auch bei starkem Druck dieselben sein werden. Wir werden die über diesen Gegenstand angestellten Versuche hier mittheilen.

265. Die Versuche von Wantzel und St. Venant. — Bei diesen i. J. 1839 angestellten Versuchen bestand das Beobachtungsverfahren darin, daß man eine Glasglocke von fast 18 Litern räumlichen Inhalt und am obern Theil durch eine Platte mit einer Oeffnung ver-

schlossen, von der Luft entleerte. Man schloß alsdann die Oeffnung während einer gewissen Zeit auf, und da man den Druck und die Temperaturen im Innern und Aeußern, sowie auch die Räumlichkeit der Glocke kannte, so konnte man das ins Innere eingeströmte Luftvolum leicht berechnen. Die Einströmungsgeschwindigkeit der Luft war in jedem Augenblick verschieden und man müßte daher durch Versuche für den Werth dieser Geschwindigkeit einen solchen Ausdruck finden, daß man durch Integration von v d t, innerhalb der der Dauer des Versuchs entsprechenden Gränzen, dasselbe Volum wieder fand, welches die direkte Beobachtung ergab. Die schärfsten Vorsichtsmaßregeln wurden ergriffen, um das Volum der Glocke, den innern und den äußern Druck und die Temperaturen sowie die Dimensionen der Oeffnungen so genau als möglich zu bestimmen. Man hat Oeffnungen in dünner Wand von 0,0085, 0,009 und 0,011 Meter Durchmesser angewendet.

266. Nach diesen Versuchen wird die Ausströmungsgeschwindigkeit durch Oeffnungen in dünner Wand durch nachstehende empirische Formel ausgedrückt:

$$v = 241\,(1 + at)^{\frac{1}{2}} \frac{\left(\frac{h - h'}{h}\right)^{\frac{1}{2}}}{1 + 0{,}58\left(\frac{h - h'}{h}\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

In derselben ist a der Ausdehnungscoëffizient des Gases, t seine Temperatur, h und h′ der innere und der äußere Druck auf irgend eine Weise bestimmt, und v die Geschwindigkeit des zusammengedrückten Gases.

267. Um das Gesetz der Ausströmung, welches in dieser Formel begründet ist, aufzufinden, setzen wir t = 0, und suchen die entsprechenden Geschwindigkeiten mit dem Ueberschuß des Drucks in Atmosphären von:

0,01 0,1 0,5 1,0 5 10 100 ∞

Substituirt man in der Formel (h — h′ : h) die entsprechenden Werthe, so findet man für die Geschwindigkeiten:

23,36 Met. 72,05 Met. 122,83 Met. 141,17 Met. 149,31 Met. 151,06 Met. 152,09 Met. 152,47 Met.; (a)

und da die diesen Belastungen entsprechenden Geschwindigkeiten nach der Formel $v = \sqrt{2\,g\,H}$ sind

38,30 Met. 119,10 Met. 227,91 Met. 279,26 Met. 353,13 Met. 373,46 Met. 393,02 Met. 395 Met. (b)

so sind die Verhältnisse der ersten Geschwindigkeiten zu den zweiten

0,61 0,605 0,539 0,506 0,423 0,405 0,387 0,386 (c)

268. Nach den Versuchen von Wantzel und St. Venant strömt die komprimirte Luft wie eine Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit aus; nur der Correktions-Coëffizient vermindert sich in dem Maß der Zunahme des Drucks. Man ersieht aus den Zahlen (a), daß wenn man von einem Drucküberschuß von 5 Atmosphären bis in das Unendliche übergeht, die Ausflußgeschwindigkeit im Wesentlichen konstant ist, da sie sich nur von 149 — 152 verändert. Dieses auf den ersten Blick eigenthümliche Resultat ist eine Folge von der progressiven Verminderung des Contraktions-Coëffizienten. Es ist die Bemerkung wichtig, daß damit die Veränderungen

des Coëffizienten die Zunahme der Geschwindigkeiten ausgleichen, es hinreichend ist, daß von 2 Atmosphären bis ins Unendliche, er in dem Verhältniß von 14 zu 10 abnimmt; denn für diese Drucküberschüsse schwankt die von dem Druck herrührende Ausströmungsgeschwindigkeit von $(0,5)^2$ zu 1, d. h. von 0,7071 zu 1, oder von 1 zu 1,41.

269. Bei den verschiedenen Versuchsreihen der Herren Wantzel und St. Venant über den Ausfluß der Luft durch Oeffnungen in dünner Wand waren die Durchmesser der Oeffnungen sehr gering. Eine hinreichend annähernde Bestimmung ihres Durchmessers ist sehr schwierig und ein Fehler bei dieser Bestimmung wirkt in demselben Verhältniß auf alle Geschwindigkeiten ein und es erscheint daher schwierig zu sein, nicht die aus den Versuchen folgenden Hauptresultate annehmen zu können, nämlich eine progressive Abnahme des Contraktions-Coëffizienten, der von einem überschüssigen Druck von 2 Atmosphären ausgehend, die Geschwindigkeit bis zu den größten Ueberschüssen des Drucks constant macht. Die von Poncelet angestellten Versuche, von denen wir sofort reden werden, bestätigen die Abnahme des Contraktions-Coëffizienten in dem Maß der Zunahme des Drucks vollständig.

270. Im Jahre 1843 wiederholten dieselben Ingenieure ihre Versuche, jedoch unter veränderten Bedingungen. Bei den ersten Untersuchungen war der Druck in sehr ausgedehnten Grenzen verschieden, aber die Oeffnungsdurchmesser standen zwischen 0,0085 und 0,011 Meter und der gesteigerte Druck war stets der der Atmosphäre. Bei den neuen Versuchen fand das Ausströmen in die Luft unter einem Druck von bis 4 Atmosphären durch Oeffnungen von 0,00212, 0,003285 und 0,004985 Meter statt, während der räumliche Inhalt des Behälters 1,186 Kubikmeter betrug. Die Resultate dieser neuen Versuche stimmen genau mit denen der ältern überein.

271. Bei allen ihren Versuchen haben die Herren Wantzel und St. Venant die Ausflußgeschwindigkeiten dadurch berechnet, daß sie das Volum des in 1 Sekunde ausgeströmten Gases durch den Querschnitt der Oeffnung dividirten. Es erleidet nun keinen Zweifel, daß wenn die Oeffnungsquerschnitte mit der größten Sorgfalt gemessen waren, bei geringem Druck der von d'Aubuisson, sowie auch durch die zahlreichen Versuche des Verfassers bestimmte Coëffizient 0,65 hätte erhalten werden müssen; es hat demnach bei der Bestimmung der Durchmesser ein Irrthum stattgefunden, der verhältnißmäßig auf alle übrigen Versuche eingewirkt hat und es giebt daher die Formel zu geringe Geschwindigkeiten in dem Verhältniß von 61 zu 65. Multiplizirt man den allgemeinen Werth von v durch 65: 61 oder 1,065, so genügt er vollständig den bei geringem Druck angestellten Beobachtungen, und es ist sehr wahrscheinlich, daß er sich der Wahrheit mehr nähert, als die ursprüngliche Formel. Es ist die Bemerkung wichtig, daß der fragliche Irrthum 0,065 auf den Querschnitt und fast $\frac{3}{100}$ auf den Durchmesser beträgt, welches bei einem Durchmesser von 2 Millimeter 6 Hundertheile eines Millimeters beträgt. Eine sehr geringe Größe und die sehr wahrscheinlich innerhalb der Grenzen des Irrthums der direkten Durchmessermessung lag. Wenn man die Zahlen (c) mit 1,065 multiplizirt, findet man:

0,65 0,64 0,57 0,54 0,45 0,431 0,423 0,411 (d)

272. Es geht daher aus den zahlreichen Versuchen von Wantzel und St. Venant hervor, daß Luft, welche unter dem atmosphärischen Druck in einen Raum ausströmt, in welchem sie mehr oder weniger verdünnt wird, sich wie eine Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit verhält; daß aber der Contraktions-Coëffizient nach und nach von 0,64 bis 0,411 sich vermindert, wenn der Ueberschuß des Drucks bei 0 Grad um 1 Atmosphäre abnimmt. Man muß es daher für sehr wahrscheinlich halten, daß sich ein verdichtetes Gas, welches in einen Raum ausströmt, der von einem Gase angefüllt ist, welches irgend eine Spannung hat, ebenso verhalten würde.

273. Die Versuche Poncelet's. — Es hat dieser Gelehrte sehr wichtige Versuche über das Ausströmen durch Oeffnungen in einer dünnen Wand und durch kurze Ansätze, unter einem großen Druck angestellt. Es wurden dieselben mittels eines von Pecqueur und Zambeaux ausgeführten Apparates, zur Beobachtung des Ausströmens der Luft durch lange Röhren ausgeführt.

274. Dieser Apparat bestand aus einem Dampfkessel von 2,926 Kubikmeter räumlichen Inhalt, in welchem die Luft unter dem Druck von mehren Atmosphären mittels einer Pumpe eingeführt war, die durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wurde. Dieser Behälter von verdichteter Luft stand mit einem blechernen Behälter von 180 Liter Inhalt mittels einer Röhre von 0,80 Meter Länge und 0,04 Meter inneren Durchmesser, die mit einem Hahn versehen war, in Verbindung. Dieser letztere Behälter war mit einem Manometer versehen und an seiner Oberfläche befand sich eine Oeffnung, durch welche die Luft entweichen konnte. Man unterhielt in demselben einen konstanten Druck, indem man den Schlüssel von dem Hahn an der Verbindungsröhre mit dem großen Behälter mehr oder weniger drehte; und am Ende des Versuchs berechnete man das Volum der ausgeströmten Luft, mittels des Volums des großen Behälters und der Verminderug des Drucks, den die Luft in demselben erlitten hatte.

275. Poncelet fand, daß für Oeffnungen in einer dünnen Wand von 0,01028 und 0,0145 Meter und unter einem konstanten überschüssigen Druck von 1 Atmosphäre der Correktions-Coëffizient der Ausströmungsgeschwindigkeit des verdichteten Gases 0,563 und 0,566, im Mittel daher 0, 564 war.

Poncelet sieht aber den Coëffizienten 1,564, der durch Versuche gefunden ist, als durch die Temperaturveränderungen, die von der Expansion der Gase in dem großen Behälter und von ihrer Erwärmung in den zweiten herrührend, als vermindert an; und durch ein annäherndes Calkül und unter alleiniger Berücksichtigung der erstern offenbar viel größere Wirkung als der zweiten, ist er der Meinung, daß der Coëffizient auf 0,53 reduzirt werden, so daß er zwischen 0,56 und 0,53 liegen müsse. Nach den Versuchen von Wantzel und St. Venant würde er 0,506, und nach der veränderten Formel würde er bei geringem Druck 0,65 betragen, welches bei dem überschüssigen Druck 1 Atmosphäre den Coëffizienten 0,54 geben würde, der den von Poncelet gefundenen sehr nahe stehen müßte.

276. Poncelet folgert aus seinen Versuchen, daß die Gase bei ihren Ausströmungen durch Oeffnungen und zwischen sehr ausgedehnten Druckgrenzen sich wie unzusammendrückbare Flüssigkeiten verhalten.

277. Es ist möglich, die Formel, welche die Ausströmungsgeschwindig-

keit der permanenten Gase giebt, unter einer sehr einfachen Form, welche Veränderungen von φ giebt, aufstellen zu können. Für einen sehr geringen Ueberschuß des Drucks und für den Drucküberschuß von 1 Atmosphäre, sind die Ausströmungsgeschwindigkeiten:

$$v = \sqrt{2gh\,(0{,}65)^2}\text{; und } v' = \sqrt{2gh'\,(0{,}54)^2}.$$

Alsdann ist für einen Ueberschuß der Belastung $\frac{P - p}{P} = 0{,}5$, die Werthverminderung von h $(0{,}66)^2 - (0{,}54)^2 = 0{,}1309$; nimmt man an, daß dieser Verlust der Belastung proportional sei, so wird er betragen $2 \cdot 0{,}1309 \cdot \frac{P - p}{P}$ oder $0{,}2618 \frac{P - p}{P}$ und die Formel wird

$$v = \sqrt{2gh\left(0{,}4225 - 0{,}2618 \frac{P - p}{P}\right)}.$$

Nach dieser Formel werden für Druck=Ueberschüsse in Atmosphären von

0,01 0,1 05 1 5 10 100 ∞

die Correktions=Coëfficienten sein:

0,648 0,631 0,579 0,54 0,4521 0,429 0,404 0,401.

Zahlen, die denen sehr nahe stehen, welche wir aus der modificirten Formel (271) abgeleitet haben.

In der Praxis wird es weit einfacher sein, die Correktions=Coëffizienten unter der Annahme zu berechnen, daß sie zwischen den Drucken, für die sie berechnet, gleichförmig verschieden sind.

Drittes Kapitel.

Untersuchung der Formel von Navier.

278. Navier hat für die verdichteten Gase, die durch kleine Oeffnungen ausfließen, eine Formel gegeben, die aus der Hypothese abgeleitet worden ist, daß das Gas, ehe es ausfließt, sich vollständig in dem Gefäß ausdehnt, und daß diese Formel von vielen Ingenieuren angenommen worden ist, so hält es der Verfasser für zweckmäßig zu untersuchen, bis zu welchem Punkte sie mit der Erfahrung übereinstimmt. Navier's Formel ist die nachstehende:

$$v^2 = 2g\left(2{,}3026 \cdot \frac{7955\,(1 + at)}{\delta}\right) \log.\frac{B}{b} = 600\,\frac{1 + at}{\delta}\,\log.\frac{B}{b}$$

Die Zahl 2,3026 ist das Modul der Logarithmentafeln; 7955 ist der gewöhnliche atmosphärische Luftdruck bei 0 Grad; δ die Dichtigkeit des Gases; und B und b sind der innere und äußere Druck, der auf irgend

eine Weise bestimmt ist, da aber diese Formel sich auf ein vollständig expandirtes Gas bezieht, so wird die Geschwindigkeit, die sich auf ein Gas unter dem Druck B bezieht, offenbar durch die Formel gegeben:

$$v^2 = 600 \frac{1 + at}{\delta} \cdot \frac{b^2}{B^2} \log. \frac{B}{b} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Die Formel, die aus dem von dem Verfasser mitgetheilten Versuche hervorgeht ist:

$$v = \varphi \cdot 395 \sqrt{\frac{B - b}{B} \cdot \frac{(1 + at)}{\delta}} \quad . \quad . \quad (2)$$

279. Um die Resultate dieser beiden Formeln zu vergleichen, wollen wir annehmen, daß die Ueberschüsse des Drucks nach und nach in Atmosphären betragen werden von:

0,01 0,1 0,5 1 5 10 100 ∞

Für diese Drucküberschüsse giebt die Formel (2), indem φ unberücksichtigt bleibt, und indem man δ gleich 1 annimmt, für v:

39,30 Met. 119 Met. 228 Met. 279 Met. 360 Met. 376 Met. 393 Met. 395 Met. (a).

Zahlen, welche durch einen Coëffizienten multiplizirt werden müßten, der ununterbrochen von 0,64 bis 0,411 abnimmt.

Um die gleichem Druck durch die Formel (1) entsprechenden Geschwindigkeiten zu erlangen, muß bemerkt werden, daß wenn man B — b — m b macht, man erhält $\frac{B}{b} = 1 + m$; man müßte daher in der Formel (1) nach und nach $\frac{B}{b}$ die Werthe geben:

1,01 1,1 1,5 2,0 6 11 101 1001 ∞

Die Geschwindigkeiten sind alsdann:

38,95 Met. 111 Met. 168 Met. 164,5 Met. 88,2 Met. 45,54 Met. 8,4 Met. 0,031 Met. 0 (b)

280. Vergleicht man die Zahlen (b) mit den Zahlen (a), so sieht man, daß die Formel (1) durchaus nicht mit der Erfahrung übereinstimmt. Zuvörderst würde die Ausflußgeschwindigkeit in die Atmosphäre eines mit unendlichem Druck verdichteten Gases 0 sein, welches nicht allein unzulässig, sondern sogar ungereimt ist. Nach dieser Formel würde es ein Maximum von einem Werth von B zu b geben, der zwischen 1,5 und 2 liegt und der nach der Berechnung für B zu b = 1,64 ist. Nun versichern aber Wantzel und St. Venant ganz bestimmt, daß dieses Maximum nicht vorhanden sei. Von B zu b = 1,64 ausgehend würde die Geschwindigkeit ununterbrochen abnehmen, und Aehnliches ist niemals beobachtet worden, weder für die Luft noch für den Dampf; es ist von allen Seiten bestätigt, daß die Geschwindigkeit mit dem Druck über eine gewisse Grenze hinaus, sehr langsam zunimmt, daß aber niemals eine Verminderung stattfindet.

281. Es muß daher die Naviersche Formel ganz aufgegeben werden, und es ist dies übrigens auch die Meinung von allen Ingenieuren, die Versuche über die Bewegung der Gase angestellt haben.

282. Es ist dies namentlich die Meinung von Poncelet, sowie von Wantzel und St. Venant, die sich auch in besondern Abhandlungen speziell darüber ausgesprochen haben, was jedoch der Bearbeiter übergeht.

283. Unabhängig von der Hypothese der vollständigen Expansion, welche der Erfahrung ganz entgegen ist, hat Navier auch eine andere unzulässige Annahme, wenn er behauptet, daß sich die Gase ausdehnen, ohne zu erkalten, oder wenigstens, daß diese Erkaltung unberücksichtigt bleiben könne. Da es von Wichtigkeit ist, einen genauen Begriff von den Temperatur-Veränderungen zu erhalten, welche bei den Gasen durch ihre Ausdehnung und durch ihre Zusammenpressung erlangt werden, so werden wir über diesen Gegenstand in einige Details eingehen.

284. Temperatur-Veränderungen der Gase, die durch ihre Volumveränderungen veranlaßt werden. — Wenn man nach Laplace mit d und d′ die Dichtigkeiten einer und derselben Gasmasse bezeichnet, ferner mit Θ die ursprüngliche Temperatur, mit Θ′ die, welche es annimmt, indem es von der Dichtigkeit d zu der Dichtigkeit d′ übergeht, mit c und c′ die beiden Wärmekapazitäten des Gases mit konstantem Volum und konstantem Druck und mit a endlich den Ausdehnungs-Coëffizienten, so erhält man:

$$\Theta' = \left(\frac{1}{a} + \Theta\right)\left(\frac{d'}{d}\right)^{\frac{c}{c'} - 1} - \frac{1}{a}; \text{ und für die Luft}$$

$$\Theta' = (274 + \Theta)\left(\frac{d'}{d}\right)^{0,42} - 274.$$

Diese Formel setzt voraus, daß das Verhältniß der bei den spezifischen Wärmen bei einem und demselben Gase mit der Temperatur und dem Druck sich nicht verändert; allein es ist dies ein Gesetz, welches zuvörderst für die Luft von Dulong, und seitdem für auch die andern elastischen Flüssigkeiten anerkannt worden ist. Es setzt unter anderm voraus, daß der Werth von a 0,00365 und ebenfalls konstant und derselbe für alle Gase ist. Es ist dies eine bestätigte Thatsache, vorausgesetzt, daß man sich nicht dem Flüssigwerden nähert. Sie setzt endlich voraus, daß, wenn ein Gas in einer von der Wärme undurchdringlichen Umgebung zusammengepreßt oder ausgedehnt wird, die in dem Gase eingeschlossene Wärmemenge konstant bleibt. Es findet nur eine Umwandlung von einem Theile der latenten in fühlbare Wärme statt und umgekehrt.

Wenn man Θ = 15 Grad annimmt, und daß das ursprüngliche Volum = 1 sei, so wird es nach und nach

1,001 1,01 1,1 1,5 2 6 11 101

Die Dichtigkeitsverhältnisse werden nach dem Mariotte'schen Gesetz sein:

0,999 0,9901 0,9091 0,666 0,5 0,1666 0,0909 0,0099 (1)

und die Werthe von Θ′, welche aus der Formel abgeleitet, werden sein:

14,9° 13,8° 3,6° 31° 58,1° 139,4° 168,8° 246,6° (2).

Wenn nun ein gewisses Volum des Gases V von der Temperatur Θ zu der Temperatur Θ′ unter gleichem Druck übergeht, so wird sein Volum V (1 + aΘ′) : (1 + aΘ); und wenn das Volum konstant bleibt, so verändert sich der Druck in demselben Verhältniß; alsdann vermindern sich die Spannungen der ausgedehnten Volumina durch die Abkühlung auf

0,9997 0,9958 0,8408 0,7472 0,4656 0,3639 0,0947 (3)
von dem was sie nach der Zunahme des Volums in Folge des Mariotte'schen Gesetzes waren.

285. Man sieht demnach, mit welcher Geschwindigkeit das Gas den Druck vermindert, wenn das ausgedehnte Volum sich nicht verändert. Es können daher die Temperaturveränderungen der Gase nur dann unberücksichtigt bleiben, wenn diese Veränderungen sehr gering sind.

286. Wir müssen jedoch sagen, daß die Formel $v' = v (1 + a t)$, welche das Volum v' eines Gases im Verhältniß zu seinem Volum v bei 0 Grad, und bei der Veränderung t der Temperatur für die positiven Werthe von t angiebt, vollkommen richtig, für die sehr bedeutenden negativen Werthe von t es nicht genau ist und daß folglich die letzten Zahlen der Reihe (3) wenig Vertrauen haben können. Die fragliche Formel ist nicht genau; denn wenn man $t = -\frac{1}{a} = -274$ machte, so würde das Volum o sein und bei einer noch niedrigeren Temperatur würde es negativ werden.

287. Es ist die Bemerkung von Wichtigkeit, daß die Temperaturveränderungen der sich ausdehnenden Luft von ihrer ursprünglichen Temperatur abhänge und daß folglich die von uns unter der Annahme von 15 Grad erlangten Resultate nicht auf alle andern Temperaturen angewendet werden konnten. Nimmt man z. B. d zu $d' = 0{,}5$ und nach und nach eine Temperatur von 0, 10, 15, 20, 30 Grad, so findet man für die Temperaturverminderung 71 Grad, 73 Grad, 74 Grad, 76 Grad.

288. Im Vorhergehenden haben wir angenommen, daß die Luft in einem verschlossenen Raume enthalten war, dessen Räumlichkeit man vermehrte; wenn man dagegen das Luftvolum verminderte, so würde zu gleicher Zeit der Druck und die Temperatur zunehmen und es würden hier entgegengesetzte Erscheinungen von den untersuchten entstehen.

289. Nehmen wir an, daß ein Luftvolum von 15 Grad in einem Raume eingeschlossen sei, dessen Volum als Einheit angenommen würde, so reduzirt man nach und nach das Volum von

0,001 0,01 0,1 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 0,99;

so werden die reduzirten Volumina sein

0,999 0,99 0,9 0,5 0,4 0,3 0,2 0,1 0,01

und die aus den Volumveränderungen hervorgehenden Spannungen werden nach dem Mariotte'schen Gesetze sein

1,001 1,0101 1,1111 2,0 2,5 3,33 5,00 10,0 100,0.

Diese Zahlen werden den Werth von d zu d' in der Formel von Laplace darstellen und man wird für die Werthe von Θ finden:

15,1° 16° 28° 112° 141° 205° 294° 486° 1725°.

Bezeichnet man mit p die Spannung des Gases, welches von der Volumverminderung herrührt, so wird es durch die Temperaturzunahme

$$p \cdot \frac{1 + a (\Theta' + 15)}{1 + 15a} = \frac{1 + a (\Theta' + 15)}{1{,}055} \cdot p;$$

und für die vielen von dem Verfasser versuchten Fälle werden die Faktoren von p sein

1,00034 1,0033 1,045 1,420 1,668 1,903 2,633 6,932

Es wird daher der Druck schnell in dem Maße zunehmen, als sich das Volum vermindert.

290. Die Temperaturveränderungen und folglich auch die Veränderungen des Druckes bei der Expansion oder Zusammenpressung des Gases werden stets mehr oder weniger durch die Emission oder Absorbtion der Wärme von dem umschließenden Wänden vermindert, wenigstens in den ersten Augenblicken; wenn aber die Wirkungen ununterbrochen waren, so entstand nach einer gewissen Zeit eine gleichbleibende Temperatur und ein gleichbleibender Druck, die nicht allein von den Ausdehnungen und Zusammenpressungen, welche die Gase erleiden, sondern auch von der Beschaffenheit der Wände abhängen.

291. Der Verfasser hat neuerlich Gelegenheit gehabt, mehrere Tage lang eine Dampfmaschine mit verschlossenem Kesselheerd zu beobachten, welche durch Luft von einem Kolbengebläse gespeist wurde, und wobei eine Vorrichtung zur Angabe des überschüssigen Drucks und der Temperatur der verdichteten Luft angebracht war.

Bei einem ersten Versuch hat die Windpressung von 1,8 bis 2,3 Atmosphären geschwankt und die von einem Thermometer, welches auf der Verbindungsröhre zweier Ventilkasten des Gebläsecylinders angebracht war, angegeben wurde, hat von 90 bis 95 Grad geschwankt; die mittlere Pressung betrug 2,05 Atmosphären und die mittlere Temperatur 92,5 Grad.

Bei einem zweiten Versuch hat die Windpressung von 2,9 bis 1,4 Atmosphären geschwankt und die Temperatur von 85 bis 90 Grad; die mittlere Pressung betrug 2,15 Atmosphären, die mittlere Temperatur 87,5 Grad.

Endlich bei einem letzten Versuch war der Druck fast fortwährend 1,8 Atmosphäre, während die Temperaturen von 80 bis 85 Grad schwankten und im Durchschnitt 82 bis 85 Grad betrugen.

292. Man könnte denken, daß bei diesen Versuchen ein bedeutender Theil der durch die Zusammenpressung entwickelten Wärme sich auf der Oberfläche des Cylinders zerstreut hat und daß folglich die Temperatur weit höher gewesen sein würde, wenn der Cylinder der Abkühlung entzogen worden wäre; man wird aber leicht erkennen, daß diese Wärmemenge von geringer Wichtigkeit im Verhältniß zu der durch die Zusammendrückung erzeugten Wärme ist. Der Gebläsecylinder hatte 0,42 Meter im Durchmesser, 0,84 Meter Höhe und 1,385 Quadratmeter Oberfläche, den Boden und Deckel mit inbegriffen; nun beträgt die mittlere Dampfmenge, welche auf das Quadratmeter und in der Stunde in einer gußeisernen, der Luft ausgesetzten Röhre verdichtet wird, fast 1,8 Kilogr., welches 1,8. 530 = 954 Wärmeeinheiten darstellt. Es ist alsdann der Temperaturüberschuß 100—15 = 85 Grad, während bei den Versuchen, um die es sich hier handelt, der Ueberschuß höchstens 60 Grad war und daher die verlorenen Wärmeeinheiten etwa 650. Bei dem ersten Versuch, der 4 Stunden dauerte, hat man stündlich 52 Kilogr. Steinkohlen verbrannt und die beiden Gebläsecylinder haben zusammen 52. 18 = 972 Kubikmeter Luft und jeder daher 486 Kubikmeter, deren Gewicht beträgt 486. 1,3 = 631,8 Kilogr.; und folglich betrug die durch Zusammendrückung in jedem Cylinder produzirte Wärmemenge 631,8. 0,237. (90—25) = 9764. Es beträgt daher die durch die Oberfläche eines Cylinders verlorene Wärme nur 0,066 von der erzeugten und es würden daher die Tem-

peraturen der verdichteten Luft bei den drei Versuchen, ohne den Wärmeverlust durch die Wände von 92,5. 1,006; 87,5 • 1,066; 82,5. 1,066, oder 98,6 Grad; 93,27 Grad und 88 Grad betragen haben.

293. Um aber diese Versuche auf die Laplace'sche Formel anzuwenden, müßte man die Lufttemperatur in dem Augenblick der Zusammenpressung kennen, eine Temperatur, die sicher höher war als die der Wände; denn die Wärme der zusammengepreßten Gase pflanzte sich in dem gußeisernen Cylinder seiner ganzen Länge nach fort, und die Luft wurde durch die Kolbenstange und durch die von der Reibung herrührende Wärme erhöht. Diese Temperaturen waren aber nicht beobachtet und konnten es auch nicht leicht werden, weil ein in irgend einen Raum angebrachtes Thermometer eine Temperatur angiebt, welche die Luft und die des Ausstrahlens der Wände bezeichnet.

294. Nimmt man an, daß bei dem ersten Versuch durch den, durch die Cylinderoberfläche veranlaßten Verlust berichtigte Temperatur = 98,6 Grad war, und nimmt man $\Theta = 30$ Grad an, so findet man:

$$\frac{d}{d'} = 2{,}03 \cdot \frac{1 + 0{,}00366 \cdot 30}{1 + 0{,}0036 \cdot 98{,}6} = 1{,}67 \text{ und folglich } \Theta' = 102{,}9^{0}.$$

Bei dem zweiten Versuch, wobei die Temperatur gleich $93{,}27^{0}$ war, hatte man, unter Annahme, daß $\Theta = 20^{0}$:

$$\frac{d}{d'} = 2{,}15 \cdot \frac{0{,}00366 \cdot 30}{1 + 0{,}00366 \cdot 93{,}27} = 1{,}72 \text{ und folglich } \Theta = 95^{0}.$$

Endlich bei dem dritten betrug die Temperatur 88^{0} und unter der Annahme, daß $\Theta = 30^{0}$, hat man:

$$\frac{d}{d'} = 1{,}8 \frac{0{,}00366 \cdot 30}{1 + 0{,}00366 \cdot 88} = 1{,}51, \text{ und folglich } \Theta' = 87^{0}.$$

Es mußte daher bei dem ersten Versuch der Werth von Θ etwas unter 30 Grad sein, bei dem zweiten Versuch etwas unter 20 Grad und bei dem dritten etwas über 30 Grad; Temperaturen, die in ziemlicher Uebereinstimmung mit den Verhältnissen stehen, unter denen die Versuche angestellt wurden. Sie bestätigen übrigens die wichtige Thatsache von der bedeutenden Wärmeentwicklung bei der Zusammendrückung der Gase.

Viertes Kapitel.

Ausfluß durch cylindrische und konische Ansätze.

295. In dem Vorhergehendem haben wir angenommen, daß sich die Ausflußöffnung in einer zu dem Oeffnungs-Durchmesser verhältnißmäßig sehr dünnen Wand befinde; es ist von Wichtigkeit, den Einfluß von der

Dicke der Platte und der Form der Oeffnung, oder was auf Eins herauskommt das Ausströmen durch cylindrische oder konische Röhren von geringer Länge zu untersuchen. Man nennt diese Röhren Ansätze oder Aufsätze.

296. Ausfluß unter geringem Druck durch cylindrische Ansätze (Fig. 10). — Wir theilen zuvörderst die Resultate von den Versuchen d'Aubuisson's mit, der sich allein mit dieser Frage beschäftigt hat.

Die Durchmesser der Ansätze, deren sich d'Aubuisson bedient hat, betragen 0,01 bis 0,03; die Längen haben den 1—3fachen Durchmesser, während der Druck von 0,027 bis 0,14 Meter Wasser beträgt; die Correktions-Coëffizienten liegen zwischen 0,92 und 0,93 und der aus 18 Versuchen abgeleitete mittlere Werth betrug 0,926.

297. Da für Flüssigkeiten der Correktions-Coëffizient bei cylindrischen Ansätzen nur 0,82 beträgt, so hat der Verfasser Zweifel in die Genauigkeit der d'Aubuisson'schen Versuche gesetzt, und er hat daher die Frage wieder aufnehmen zu müssen geglaubt.

Er hat eine Röhre von Kupferblech von 0,010295 Meter Durchmesser und von etwa 0,30 Meter Länge genommen, die ziemlich genau cylindrisch war; sie wurde so zerschnitten, daß die Röhren von 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 . . . . . . 30 Millimeter Länge bildeten. Eine jede wurde mit großer Sorgfalt mittels weichem Wachs auf eine Oeffnung in dünner Wand von gleichem Durchmesser befestigt, und man hat die Ausflußzeiten eines und desselben Luftvolums unter gleichen Umständen beobachtet: Barometerhöhe 0,76 Meter; Temperatur 17 Grad; Ueberschuß des Drucks im Wasser 0,0417 Meter; für Längen von:

0 2 Mm. 4 Mm. 6 Mm. 8 Mm. 10 Mm. 12 Mm. . . 30 Mm.

waren die Ausfluß-Zeiträume:

106″ 106″ 93″ 88″ 83″ 83″ 83″ . . . . 83″

298. Die größte Geschwindigkeit findet daher bei einer Länge, die fast gleich $^8/_{10}$ Zehntheilen des Röhrendurchmessers beträgt, statt; darüber hinaus und bis zu der größten Länge der Röhren ist die Ausströmungszeit konstant, weil der Einfluß der Reibung im Wesentlichen 0 ist. Das Geschwindigkeitsverhältniß in dem cylindrischen Ansatz zu der Geschwindigkeit in der dünnen Wand ist gleich 106 : 83 = 1,277; der Contractions-Coëffizient φ für den cylindrischen Ansatz ist gleich 0,65. 1,277 d. h. 0,83.

299. Dieses letztere Resultat steht dem beim Ausfluß vom Wasser erlangten sehr nahe, ist aber von dem aus den Versuchen d'Aubuissons abgeleiteten, sehr verschieden. Es ist wahrscheinlich, daß diese Versuche dadurch gemacht wurden, daß man Ansätze auf Röhren anbrachte, deren Durchmesser in Beziehung auf die der Ansätze nicht sehr groß waren, ein Umstand, der einen großen Einfluß auf den Contraktions-Coëffizienten durch Oeffnungen in dünner Wand oder durch Ansätze gehabt, und auf den man bis jetzt nicht geachtet hat.

300. Die Zunahme des Ausflusses durch cylindrische Ansätze erklärt sich leicht. Der aus dem Behälter herausgehende und sich zusammenziehende Strahl nimmt im ersten Augenblick die umgebende Luft mit sich, und es entsteht rings um den vermengten Querschnitt eine Expansion, die zu dem Ueberschuß des Drucks, in dessen Folge der Ausfluß stattfindet, hinzukommt. Es entsteht daraus nothwendig eine Vermehrung des Aus-

flusses. Man kann selbst mittels einer sehr einfachen Betrachtung durch Berechnung zu dem Erfahrungs-Resultat gelangen. Bezeichnen wir mit s die Oberfläche der Ausflußöffnung, mit s' den Querschnitt des zusammengezogenen Strahls; die durch Zunahme des Querschnittes erfolgende Expansion wird sein p s': s; es wird demnach der den Ausfluß hervorbringende Druck gleich sein $p\left(1+\frac{s'}{s}\right)$. In dem vorliegenden Falle ist s = 1, s' = 0,65; der neue Druck wird sein p. 1,65 und folglich die neue Geschwindigkeit in dem Ansatz wird gleich dem sein, welcher in der Oeffnung in dünner Wand stattfindet, multiplizirt durch die Quadratwurzel von 1,65 oder 1,28, eine derjenigen sehr nahe stehende Zahl, welche aus den Versuchen hervorgeht und die, wie wir gesehen haben, 1,277 beträgt.

301. Verlust des Druckes durch einen cylindrischen Ansatz. Wiederholen wir das in Nr. 251 Gesagte, so finden wir, daß der Verlust an Druck P — p durch einen cylindrischen Ansatz ist:

$$P - p = \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1\right) p = A p.$$

In dieser Formel ist P der Ueberschuß des Drucks in dem Behälter über dem äußern Druck, p ist die der Ausströmungsgeschwindigkeit entsprechende Belastung, φ ist der Correktions-Coëffizient. In dem uns beschäftigenden Fall ist $\varphi = 0{,}83$ und es folgt daraus;

$$P - p = 0{,}451\,p;\ \text{und}\ A = 0{,}451.$$

302. Ausfluß durch cylindrische Ansätze unter hohem Druck. — Man kennt in dieser Beziehung nur die von Poncelet mittels der Apparate von Pecqueur ausgeführten und in Nr. 274 beschriebenen Versuche. Bei diesen Versuchen brachte man Röhren von 0,01028 Durchmesser an das Ende einer rechtwinklich gebogenen Röhre von 0,30 Meter Länge und 0,04 Meter innerem Durchmesser.

Für Längen von

0,000 Met.	0,01 Met.	0,025 Met.	0,050 Met.	0,100 Met.

waren die Reduktions-Coëffizienten der theoretischen Geschwindigkeit

0,535	0,665	0,650	0,636	0,632

Nach diesen Versuchen ist der höchste Coëffizient 0,665 und er findet auf eine dem Durchmesser der Röhre fast gleiche Länge statt; das Verhältniß dieses Coëffizienten zu dem, welcher Oeffnungen in dünner Wand entspricht, ist gleich 0,665 : 0,535 = 1,24.

303. Wendet man hier dieselben Erläuterungen an, wie bei dem Ausfluß unter geringem Druck (300), so findet man, daß das Verhältniß der größten Geschwindigkeit in dem Ansatz zu der Geschwindigkeit in der Oeffnung in dünner Wand gleich $\sqrt{1{,}54} = 1{,}24$ ist, welche Zahl mit der durch den Versuch gefundenen in vollkommener Uebereinstimmung ist.

304. Man kann auch in Uebereinstimmung mit der Berechnung und den Versuchen für cylindrische Ansätze das Verhältniß des Correktions-Coëffizienten C, der sich auf Oeffnungen in dünner Wand bezieht, gleich

Quadratwurzel $1 + c$ ableiten; alsdann ist der Werth des ersten gleich $c \sqrt{1 + c}$. Man findet auf diese Weise, daß für den verschiedenen Druck, den wir betrachtet haben, nämlich:

0,01 Atm. 0,1 Atm. 0,5 Atm. 1 Atm. 5 Atm. 10 Atm. 100 Atm.

die Correktions-Coëffizienten für die cylindrischen Ansätze sind

0,834 0,82 0,71 0,67 0,54 0,51 0,487.

305. Cylindrische Ansätze am Ende einer Röhre, deren Durchmesser mit dem des Ansatzes zu vergleichen ist. (Fig. 11). — Wir sahen, daß bei einem cylindrischen Ansatz an einer viel weitern Röhre der Contraktions-Coëfficient im Fall des Ausflusses unter schwachem Druck gleich 0,83 sei. In dem Maß, daß der Durchmesser des Ansatzes zunimmt, muß auch der Werth dieses Coëffizienten steigen; denn wenn die beiden Durchmesser gleich sind, so wird der Coëffizient mit der Einheit gleich. Die in dieser Beziehung angestellten Versuche haben nicht vollkommen genügt, geht man aber von denen aus, welche die größte Genauigkeit für sich haben, so kann man mit dem Verfasser zu folgender Tabelle gelangen, welche für verschiedene Verhältnisse der Durchmesser die Werthe der Correktions-Coëffizienten und des Druckverlustes angiebt.

Werthe $d : D$ . . .	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Werthe von φ . . .	0,83	0,82	0,83	0,84	0,86	0,88	0,91	0,94	0,97	1
Werthe von A . . .	0,45	0,49	0,45	0,42	0,35	0,29	0,21	0,13	0,06	0

Diese Werthe sind freilich nur Annäherungen, jedoch sind sie für alle Anwendungen hinreichend genau.

306. Konische, sich verengende Ansätze (Fig. 12). — D'Aubuisson hat über diese Ansätze sehr viel Versuche gemacht, deren Resultate nachstehende sind:

Convergenzwinkel	6°	11°24′	18°54,	28°4′	53°8′
Contraktions-Coëffizient φ .	0,938	0,947	0,917	0,880	0,798

D'Aubuisson sagt nicht, wie diese Ansätze an den Behälter angebracht, ob sie auf eine ebene Oberfläche von großer Ausdehnung oder am Ende eines Cylinders befestigt waren, dessen Durchmesser der des Ansatzes war. Man könnte jedoch annehmen, daß diese Versuche im ersten Fall ausgeführt worden sind, da eine Stelle in der Hydraulik von d'Aubuisson darauf hindeutet.

307. Es ist von Wichtigkeit, beide Fälle, um die es sich bei der Frage handelt, für sich zu untersuchen; denn der Einfluß der Convergenz der Winkel ist nicht gleich. Wenn der Ansatz auf einer ebenen und großen Fläche angebracht ist und man annimmt, daß der convergirende Winkel auf gleichartige Weise von 0—180 Grad zunimmt, so wird der Contraktions-Coëffizient, der zuvörderst gleich 0,83 ist, bis zu einer gewissen Grenze, die der Convergenz des Strahls in einem cylindrischen Ansatz entspricht, zunehmen. Der Coëffizient muß alsdann gleich 1 sein und darüber hinaus muß er abnehmen, um an der äußersten Grenze 0,65 zu werden. Im zweiten Fall muß bei gleichen Veränderungen des Convergenzwinkels der Coëfficient zuvörderst gleich der Einheit, sich nach und nach derart vermindern, daß er wieder gleich 0,65 wird, wenn der Winkel gleich 180 ist.

308. **Konische Ansätze, die auf einer ebenen Oberfläche von großer Ausdehnung angebracht sind** (Fig. 13). — Wir wollen zuvörderst bemerken, daß bei einem cylindrischen Ansatz der Durchmesser des verengten Querschnitts gleich $\sqrt{0,65} = 0,8$ ist, wenn der Durchmesser der Oeffnung = 1. Der Scheitelwinkel eines Kegels, der durch die beiden Querschnitte geht, würde unter der Annahme, daß ihre Entfernung gleich der Einheit ist, wie es der Versuch angiebt, etwa 24 Grad sein, welches sogleich zu der Annahme führt, daß bei einem konischen Ansatz von einem Winkel von 24 Grad der Coëffizient gleich 1 sein würde.

Es folgt wirklich aus den Versuchen, daß der Contraktions-Coëffizient schnell zunimmt, wenn der Scheitelwinkel des Kegels von 0 Grad auf 30 Grad übergeht, wo er gleich 1 ist, daß er schnell abnimmt, wenn der Winkel von 30 auf 50 Grad übergeht, wo er geringer als bei einer cylindrischen Röhre ist; und ferner, daß er alsdann bis 180 Grad sehr langsam abnimmt, wo er gleich 0,65 wird.

309. Die nachstehende Tabelle giebt die nachstehenden Werthe von φ und A für die verschiedenen Scheitelwinkel:

Winkel.	Werthe von φ	Werthe von $A = \frac{1}{\varphi^2} - 1.$	Winkel.	Werthe von φ	Werthe von $A = \frac{1}{\varphi^2} - 1.$
0°	0,83	0,45	60°	0,76	0,73
5	0,95	0,11	80	0,17	0,83
10	0,98	0,04	100	0,72	0,93
20	0,99	0,02	120	0,70	1,04
30	1,00	0,00	140	0,68	1,16
40	0,95	0,11	160	0,67	1,22
50	0,80	0,56	180	0,65	1,366

Man ersieht aus dieser Tabelle, daß für Scheitelwinkel zwischen 5 Grad und 40 Grad ein wesentlicher Verlust an Druck nicht zu vermeiden ist.

310. **Convergirender konischer Ansatz am Ende einer Röhre.** — Wenn ein konischer Ansatz (Fig. 14) an das Ende eines Cylinders angebracht, dessen Durchmesser gleich dem größten Durchmesser des Ansatzes ist, so muß der Correktions-Coëffizient offenbar von der Einheit für einen Winkel von 0 Grad bis 0,65 für einen Winkel von 180 Grad verschieden sein. Die umstehende Tabelle giebt die Werthe von φ und A für verschiedene Scheitelwinkel an:

Winkel.	Werthe von φ	Werthe von $A=\frac{1}{\varphi^2}-1.$	Winkel.	Werthe von φ	Werthe von $A=\frac{1}{\varphi^2}-1.$
0°	1,00	0,00	100°	0,80	0,56
10	0,97	0,06	120	0,75	0,78
20	0,93	0,16	140	0,73	0,88
30	0,89	0,26	150	0,71	0,98
40	0,86	0,35	160	0,69	1,10
60	0,83	0,45	170	0,67	1,23
80	0,82	0,49	180	0,65	1,366

311. Sich erweiternde oder divergirende konische Ansätze (Fig. 15). Der Verfasser kennt keinen Versuch, dessen Zweck es war, den Einfluß der konischen divergirenden Ansätze auf die Geschwindigkeit der Gasausflüsse zu bestimmen. Man hat nur eine große Anzahl von Versuchen in Beziehung auf die Verminderung des Drucks, der am Anfang der sich erweiternden Röhren entsteht, gemacht. Wir werden später auf diesen Gegenstand zurückkommen. Dagegen haben Venturi und Eytelwein zahlreiche Versuche über den Ausfluß des Wassers durch divergirende konische Ansätze angestellt. Da die Gase, welche unter geringem Druck ausströmen, keine merklichen Dichtigkeitsveränderungen erleiden, so müssen sie sich wie Flüssigkeiten verhalten. Aus diesem Grunde wollen wir daher die Versuche beider Ingenieure mittheilen.

312. Die Versuche von Venturi. (Fig. 16.) — Der Ansatz bestand aus zwei in entgegengesetzten Richtungen befindlichen abgestumpften Kegeln, deren kleine Basen an einander stoßen. **A B** war = 0,0406 Meter, **A′ B′** = 0,03497; **A A′** war = 0,02482, und die Oberflächen **A B** und **A′ B′** waren = 0,001296 und 0,000960 Quadratmeter. Venturi veränderte den Scheitelwinkel des zweiten Winkels von 3 Grad 30 Minuten auf 14 Grad 14 Minuten; der Ausfluß fand stets unter einem Druck von 0,88 Meter statt, der einer theoretischen Geschwindigkeit von 4,155 Meter entsprach. Man beobachtet die Zeit von dem Abfluß eines Wasservolums von 0,137 Kubikmeter. Venturi folgerte aus seinen Versuchen, daß die Ansätze mit dem stärksten Ausfluß eine Länge gleich dem neunfachen Durchmesser der kleinen Basis und eine Erweiterung von 5 Grad 6 Minuten haben müsse. Es erfolgte dann ein 2,4fach größerer Abfluß, als aus einer Oeffnung in dünner Wand und 1,46 mal größer als der theoretische Ausfluß. Bei einem andern Versuch aber würde die Ausflußgeschwindigkeit gleich 1,68 von der theoretischen Geschwindigkeit sein.

313. Eytelwein's Versuche. (Fig. 17.) — Dieser Ingenieur hat eine Reihe von Röhren von 0,026 Meter Durchmesser von verschiedenen Längen genommen, die er nach und nach an einem mit Wasser gefüllten Gefäß angebracht hat; zuvörderst allein, dann an dem vordern Ende der Mündung **M**, welche fast die Form des zusammengezogenen Strahls hatte. An dem andern Ende der Röhre **N** brachte er einen erweiterten Ansatz **P** an, welcher die von Venturi empfohlene Form hatte; endlich

wurde auch die Röhre N weggelassen und der erweiterte Ansatz P unmittelbar mit dem Mundstück M verbunden. Der Abfluß erfolgte unter einem konstanten Druck von 0,73 Meter.

Bei seinen ersten Versuchen veränderte Eytelwein die Länge der Röhre; er hatte gefunden, daß der Abfluß mit dem Mundstück, der Röhre und dem Ansatz in dem Maß zunahm, als sich die Länge der Röhre verminderte und daß bei einer Röhrenlänge von 0,078 der Ausfluß = 1,35 von dem war, der in der Röhre allein stattfand. Blieb nun die mittlere Röhre ganz weg, und wurde das Mundstück an dem Behälter direkt mit dem Ansatz verbunden, so betrug der Abfluß im Vergleich zu dem theoretischen 0,92; der Absatz, direkt mit dem Behälter verbunden, hat einen Abfluß von 1,18 gegeben, und mit dem Mundstück und dem Ansatz belief sich der Ausfluß auf 1,50. Es hat demnach der Ansatz die Wirkung des Mundstücks in dem Verhältniß von 0,92 zu 1,55 oder von 1 zu 1,69 vermehrt.

314. Neue Versuche. — Der Verfasser hat zahlreiche Versuche über den Ausfluß der Luft durch sich erweiternde Kegel gemacht und hat dabei mehre wichtige Thatsachen bestätigt. Wenn der Scheitelwinkel des Kegels 10 Grad übersteigt, so nimmt der Luftstrom nicht den ganzen Querschnitt ein. Die äußere Luft dringt durch die äußeren Flächen ein und es entsteht die in Fig. 18 dargestellte Bewegung. Wenn man an den Rändern des Kegels kleine Flöckchen von Eiderdunen anbringt, so werden sie angesaugt und bleiben in dem Kegel, indem sie sich um sich selbst drehen.

315. Man kann sich leicht Rechenschaft von diesen Erscheinungen geben. Der Luftstrahl, welcher aus dem cylindrischen Ansatz ausströmt, sucht seine Bewegung in derselben Richtung fortzusetzen; da er aber die ursprünglich ruhig stehende, umgebende Luft mit sich wegreißt, so dehnt er sich aus, um den Querschnitt des Kegels einzunehmen und es folgt nothwendig daraus, daß die Spannung der Luft in jedem Querschnitt des Kegels von der Mitte nach der Peripherie zu abnimmt. Danach hängt die Geschwindigkeits-Verminderung in dem cylindrischen Ansatz von der Ausdehnung des Querschnitts, in welcher die äußere Luft dringt und von der mittleren Geschwindigkeit der Luft in diesem Querschnitt ab. Wenn in allen Punkten eines gleichen Kegelquerschnittes die Geschwindigkeiten dieselben wären, so würde der Ausfluß-Querschnitt bei voller Oeffnung und für alle Kegel stets dieselbe Ausdehnung haben und es würde folglich die Wirkung eines hinlänglich verlängerten konischen Ansatzes, wenn man die Reibungen unberücksichtigt läßt, stets dieselbe sein; da ein solches Verhältniß aber nicht stattfindet, so hat der Querschnitt, um den es sich handelt, eine um so kleinere Ausdehnung, als die Spannungsveränderungen in einem gleichen Querschnitt von der Peripherie zur Mitte schneller sind, und man leicht einsehen wird, daß der Winkel des Kegels und der Mangel des Zusammenfallens von der Hülse und dem Kegel Einfluß haben müssen.

316. Wenn man v die der Belastung P in dem Behälter entsprechende Geschwindigkeit nennt und v_1 die mittlere Geschwindigkeit in dem cylindrischen Theil des divergirenden Ansatzes nennt, so wird man haben v, wobei Ψ ein größer als die Einheit seiender Correktions-Coëffizient ist. Wenn p die der Geschwindigkeit v_1 entsprechende Belastung ist, so ist es klar, daß p größer als P sein muß. Der Ansatz veranlaßt eine Zunahme

der Belastung p — P, die sich nach Nr. 251 leicht berechnen läßt. Man findet demnach:

$$P - p = \left(\frac{1}{\psi^2} - 1\right) p = - B p.$$

Vereinigt man die über die Kegel, deren Scheitelwinkel von 0 — 180 Grad veränderlich sind, gemachten Versuche, so läßt sich die nachstehende Tabelle aufstellen, welche die annähernden Werthe von Ψ und P für Winkel von 0 Grad und 50 Grad giebt. Für größere Winkel ist der Werth von Ψ im Wesentlichen stets der Einheit gleich.

Winkel.	Werthe von		Winkel.	Werthe von	
	ψ	$B = 1 - \frac{1}{\psi^2}$.		ψ	$B = 1 - \frac{1}{\psi^2}$.
0°	1,00	0,00	9°	1,95	0,67
1	1,24	0,35	10	1,50	0,56
2	1,48	0,54	12	1,40	0,49
3	1,70	0,66	16	1,35	0,45
4	1,95	0,74	20	1,30	0,41
5	2,25	0,80	25	1,26	0,37
6	2,40	0,83	30	1,18	0,28
7	2,45	0,83	40	1,08	0,14
8	2,30	0,81	50	1,05	0,10

Die geringste Wirkung hat bei einem Winkel von ungefähr 7 Grad statt. Die Geschwindigkeit und folglich das ausgeströmte Volum werden in dem Verhältniß von 1 zu 2,45 vermehrt.

317. Wenn eine cylindrische Röhre in einem abgestumpften sich erweiternden Kegel (Fig. 19.) endigt, so entstehen dieselben Erscheinungen und um das ausgeströmte Volum zu erhalten, müßte man sich der in den vorhergehend mitgetheilten Formeln und Coëffizienten bedienen.

318. Ansätze, welche in den Behälter eintreten. — Wir haben bis jetzt angenommen, daß der Ansatz nur bis zur innern Wand des Behälters gehe. Wenn er aber dagegen in um eine gewisse Größe in das Innere tritt, so können die Contraktions-Coëffizienten nicht mehr dieselben sein.

So wurde für einen cylindrischen Ansatz (Fig. 20.) von 0,00772 Durchmesser, der um 5 Millimeter in den Behälter tritt, ein Contraktions-Coëffizient von 0,78 gefunden.

Für konische Ansätze (Fig. 21.) vermindert oder vermehrt sich der Contraktions-Coëffizient nach dem Winkel des Kegels. So wurden für Scheitelwinkel für 43 und 29 Grad die Contraktions-Coëffizienten wie bei einem außerhalb angebrachten Ansatz gefunden. (Eine Stellung die in der Figur punktirt angegeben worden ist), und zwar zu 0,824 und zur Einheit. Bei im Innern angebrachten Ansätzen waren die Coëffizienten gleich o, 611 und 0,620, d. h. demnach wesentlich geringer. Dagegen waren bei einem Scheitelwinkel von 5 Grad 30 Minuten die Contraktions-Coëf-

fizienten, je nachdem der Ansatz am Aeußern oder im Innern angebracht war = 0,96 und 1,02 gefunden. Es war demnach in dem letztern Falle die Geschwindigkeit weit größer für den innern als für den äußern Ansatz.

Fünftes Kapitel.

Reibung in den Gasleitungsröhren.

319. Wenn ein Gas eine Röhre durchströmt, so erleidet es durch die Reibung einen seine Geschwindigkeit vermindernden Widerstand. Die Bestimmung desselben ist von großer Wichtigkeit, da man in sehr vielen, die Gewerbe betreffenden Fälle, Gase in Leitungsröhren in Bewegung setzen muß.

320. Die Versuche von Girard. — Das von diesem Ingenieur zu seinen, im Jahre 1821 angestellten Versuchen angewendete Gasometer hatte einen Querschnitt von 9,4968 Quadrat-Meter; bei allen Versuchen hatte der Ueberschuß des Gases über die Atmosphäre = 0,03383 einer Wassersäule; der Weg des Gasometers war durch einen Zeiger angegeben, der eine graduirte Skala durchlief; eine zweckmäßig angebrachte Kette glich den Gewichtsverlust aus, den die Glocke erlitt in dem Maß, als sie ins Wasser eintauchte. Die Gase strömten durch eine gußeiserne Röhre von 0,08121 Meter Durchmesser und 623 Meter Länge, die fast horizontal und 0,70 Meter unter dem Boden lag, jedoch an verschiedenen Punkten von den Gasometer geöffnet werden konnten, aus.

Girard hat auch das Ausströmen eines Gases durch Röhren, die aus Flintenläufen von 0,01579 Meter Durchmesser gebildet worden waren, und deren Länge sich bis auf 127 Meter belief, beobachtet. Das Gas wurde durch ein kleines Gasometer unter der konstanten Belastung von 0,03383 Wasser, wie dies auch bei dem großem Gasometer der Fall war, unter Druck gebracht.

Bei allen Versuchen beobachtete man das Sinken des Gasometers mehre Minuten lang. Daraus leitete man das Volum des in der Sekunde ausgeströmten Gases ab und folglich die Ausströmungsgeschwindigkeit, indem man dieses Volum durch den Querschnitt der Röhre dividirte.

321. Um die Ausströmungsgeschwindigkeit im Verhältniß zu dem Druck und zu den Dimensionen der Leitung zu finden, hat Girard die nachstehende Formel aufgestellt:

(1). . . . . $v^2 = \frac{g P D}{4 L \cdot b}$, welches auf $p = \frac{P D}{K L}$ kommt . . . . (2)

indem $p = v^2 : 2\,g$, und $K = 8\,b \cdot P$ ist die Belastung des Gasometers im Verhältniß zu der Höhe der Gassäule, L D stellen die Länge und den Durchmesser der Leitung dar und K ist der Reibungs-Coëffizient.

322. Mit der Röhre von 0,0821 Meter Durchmesser sind drei Versuche angestellt und es war das große Gasometer mit Leuchtgas angefüllt. Die Längen der Röhren betrugen 128,28 Meter; 375,80 Meter; und 622,80 Meter. Mit Hülfe der Gleichung (1) hat man drei Werthe für b gefunden, die sehr wenig von einander abweichen, und deren Mittelzahl gleich ist, 0,00228; welches für K = 8 b = 0,017824 giebt.

Drei Versuche mit denselben Röhren angestellt und das Gasometer mit Luft gefüllt, haben ebenfalls drei fast identische Werthe für b gegeben, deren mittlerer gleich 0,002247; welches für K = 8 b = 0,017976 giebt.

Fünf Versuche mit den aus Flintenläufen bestehenden Röhren von 0,01579 Meter Durchmesser wurden angestellt; ihre Längen betrugen 37,53 Meter; 56,84 Meter; 85,06 Meter; 109,04 Meter und 126,58 Meter. Das Gasometer war mit Leuchtgas angefüllt und man erhielt für b einen mittlern Werth von 0,00326, welches für K = 8 b = 0,02608 giebt.

Endlich wurden 10 Versuche mit aus Flintenläufen zusammengesetzten Röhren angestellt, deren Längen 36,91 Meter; 55,91 Meter; 88,06 Meter; 111,24 Meter; 37,53 Meter; 56,84 Meter; 85,06 Meter; 109,04 Meter; 126,58 Meter und 6,58 Meter betrugen. Das Gasometer war mit Luft gefüllt und gab als mittlern Werth für b, 0,00323, welches für K = 8 b = 0,02584 giebt.

323. Es folgt aus allen diesen Versuchen:

1) daß die angenommene Formel so genau als erforderlich die entstandenen Erscheinungen ausdrückt; denn für große Längenveränderungen in jedem der beiden Leitungssysteme ist der Weth von K konstant geblieben.

2) daß für jedes System der Werth von K derselbe für das Leuchtgas von 0,55 Dichtigkeit und für die atmosphärische Luft war, und daß es daher sehr wahrscheinlich ist, daß der Widerstand, den die Gase bei ihrer Bewegung durch Röhren finden, unabhängig von ihrer Beschaffenheit ist.

3) daß der Reibungs-Coëffizient in Röhren von 0,08121 und von 0,01579 nicht gleich ist. Girard schreibt diese Verschiedenheit zwei Ursachen zu Die erste würde die verschiedene Beschaffenheit der Oberflächen sein: gußeiserne Röhren, die längere Zeit zur Leitung von Leuchtgas dienen, sind im Innern mit einer Theerschicht überzogen, welche die Oberfläche vollkommen eben machen, während die aus Flintenläufen gebildete Leitung im Innern oxydirte Oberflächen hatte. Die zweite Ursache würde darin bestehen, daß wegen des an der Peripherie der Röhre stattfindenden Widerstandes die Geschwindigkeit von der Peripherie bis zum Mittelpunkt zunimmt, sowie darin, daß die mittlere Geschwindigkeit, die man als Peripherie-Geschwindigkeit annimmt, sich um so mehr von diesen letztern entfernt, je größer der Durchmesser ist. Alsdann sind die Werthe von v, die man zur Bestimmung von K annimmt, zu groß und der Ueberschuß ist bedeutender für eine große als für eine kleine Leitung.

324. Die Versuche von d'Aubuisson. — Diese Versuche wurden im Jahre 1827 mit einer Leitung von fast 400 Meter gemacht. Man nahm sie theilweise um sich von dem Einfluß der Länge zu überzeugen und für jede Länge wurde ein verschiedener Druck der Luft angewendet. Man veränderte auch die Geschwindigkeit, indem man am Ende Ansätze von verschiedenen Durchmessern anbrachte. Um endlich auch den Einfluß der Röhrendurchmesser zu beobachten, machte D'Aubuisson Ver-

suche mit zwei kleinen Leitern von 50 Meter Länge, von denen der Durchmesser der einen halb so groß und der andern ein Viertel so groß wie der der vierten war.

Bei diesen Versuchen wurde die Luft nicht durch den Druck eines Gasometers wie bei den Versuchen von Girard in die Röhre getrieben, sondern durch ein Gebläse, durch eine sogenannte Wassertrommel, ähnlich der, wie man sie in der Eisenhütte der Pyrenäen findet. Es bestand dieses Gebläse aus einer, aus einen in Fichtenstamm ausgebohrten senkrechten Röhre von 8,40 Meter Länge, welche unten in ein Faß von 1,15 Meter Durchmesser und 1,32 Meter Höhe auslief; dieses Faß war unten offen und stand in einem auf 0,85 Meter mit Wasser ausgefüllten Behälter. Diese Wassertrommel erhielt das Wasser aus einem Bach, der in der Sekunde 0,025 bis 0,030 Kubikmeter Wasser abgab. Ein mit einem Schutz versehener Behälter hatte eine solche Einrichtung, daß man die Menge des in die Wassertrommel abgelaufenen Wassers genau bestimmen konnte. Diese Wassertrommel konnte der angesaugten und verdichteten Luft einen Ueberschuß des Drucks über den der Atmosphäre über 0,85 Meter Wasser geben, welches einer Geschwindigkeit von fast 9 Meter entspricht.

325. Die große Leitung, welche einer Grube frische Wetter zuführte, bestand aus weißblechernen Röhren von 0,10 Meter Durchmesser, die an einander gelöthet waren. An ihrem vordern Ende hatte sie zwei Knie von rechten Winkeln, jedoch gehörig abgerundet; 80 Meter von dem Gebläse entfernt, trat sie in den Stollen und hatte in demselben eine geradlinigte Länge von 387 Meter. Diese Röhre stand mit dem Luftbehälter durch einen gegen denselben erweiterten Ansatz in Verbindung. Am Ende der Leitung brachte man Ansätze oder Düsen an, durch welche die Abflußöffnung verengt werden konnte. Für die Leitung von 0,10 Meter Durchmesser hatten die Düsen 0,05 Meter, 0,03 und 0,02 Meter Durchmesser; für die Leitung von 0,5 Meter Durchmesser waren die Düsen 0,03, 0,02 und 0,01 Meter weit; endlich für die 0,025 Meter weite Leitung hatten sie Durchmesser von 0,02 und 0,01 Meter. Jeder Ansatz war mit einer kurzen Röhre zur Aufnahme eines Wassermanometers versehen, während ein anderes Manometer auf dem Luftbehälter angebracht worden war.

326. Bei diesen Versuchen maß man den Druck P und p an den beiden Enden der Leitung; aber die Geschwindigkeit in der Röhre war geringer als die am Ausgang und zwar im umgekehrten Verhältniß der Querschnitte; indem man alsdann annahm, daß die Reibung proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit war, hatte man:

$$P - p = \frac{K L \varphi^2 d^4}{D^5} p; \text{ daher } p = \frac{P D^5}{K L \varphi^2 d^4 + D^5} \quad \ldots . (2)$$

denn die Geschwindigkeit ist

$$\varphi \frac{d^2}{D^2} \sqrt{2 g p},$$

wobei d und D die Durchmesser der Düse und der Röhre vorstellen, φ den Contraktions-Coëffizienten beim Eintritt in die Düse und K beim Reibungscoëffizienten.

Es muß jedoch bemerkt werden, daß das am Ende angebrachte Manometer den Druck des Gases an diesem Punkt und nicht denjenigen Punkt

angiebt, welcher das Ausströmen durch die Düse veranlaßt, so daß, wenn man diese letztere Belastung mit p bezeichnet, man hat:

$$p' = p + p \frac{\varphi^2 d^4}{D^4}.$$

Da aber d im Verhältniß zu D stets sehr klein ist, so kann der zweite Ausdruck des Werthes p' unberücksichtigt bleiben und man kann p für p' nehmen. Nimmt man d = D : 3 an, so wird der zweite Ausdruck für den Werth p' = 0,0107 p.

327. Als Resultat von mehr als 1000 Versuchen ist K = 0,0238 bestimmt worden. Es sollen einige von den erlangten Resultaten näher angeführt werden. Eine Reihe von 15 Versuchen, die mit den Röhren von 0,10 Durchmesser angestellt worden sind, deren Längen von 100,60 387,14 Meter verschieden, die mit einer Düse von 0,05 Durchmesser versehen waren und in denen der Druck in Wassersäulen von 0,58—0,25 Meter geschwankt hat, haben als mittlern Werth von K 0,0228 gegeben; die äußersten Werthe waren 0,0258 und 0,0193.

Die mit denselben Röhren, unter denselben Umständen, jedoch mit einer Düse von 0,3 Meter und mit einem Drucküberschuß zwischen 0,54 und 0,38 angestellten Versuche haben für den Werth von K 0,0225 gegeben; die Extremwerthe waren 0,0285 und 0,0200.

Sechs Versuche wurden mit Röhren von 0,05 Meter Durchmesser gemacht; ihre Länge betrug 9,35 bis 55,53 Meter und der Druck schwankte von 0,47 bis 0,54 Meter; mit einer Düse von 0,03 Meter erhielt man für K = 0,0234; die Extremwerthe ergaben 0,0244 und 0,0226.

Dieselben mit einer Düse von 0,02 Meter Durchmesser und unter Druck zwischen 0,68 und 0,83 Meter wiederholten Versuche, haben für K = 0,0244 gegeben und die extremen Werthe waren 0,0262 und 0,0227.

328. D'Aubuisson sagt, daß er die, aus der Formel (2) abgeleiteten Werthe von p mit mehr als 300 Beobachtungen verglichen und gefunden habe, daß die Resultate des Kalküls denen der Beobachtung in allen ihren Schwankungen gefolgt sind, seien die benutzten Leitungen und Düsen welche sie wollen, wenn der Querschnitt der erstern 0,73 und der der letztern 0,04 waren. Wenn demnach die d'Aubuissonsche Formel auch der Theorie nach nicht vollkommen genau ist, so hat sie doch wenigstens in den hier bezeichneten Grenzen die vollständige Anerkennung der Erfahrung und innerhalb dieser Grenzen befinden sich fast alle in der Praxis vorkommenden Fälle.

329. Die Versuche von Pecqueur und Poncelet. — Der Erstere machte im J. 1845 bei Gelegenheit des Projekts einer athmosphärischen Eisenbahn, mit den Herren Bontepms und Zambaux, zahlreiche Versuche über die Bewegung der Luft durch lange Leitungsröhren. Der Apparat von Pecqueur ist in Nro. 274 beschrieben.

330. Poncelet hat eine Reihe von Versuchen erwähnt, bei denen man den kleinen Behälter weggelassen hatte und bei welchen der Ausfluß direkt in die Atmosphäre unter konstantem Druck stattfand. Die gezogenen Bleiröhren hatten 0,01028 Meter Durchmesser; die ausgeströmte Luftmenge auf den atmosphärischen Druck von 0,76 Meter zurückgeführt,

war fortwährend 1,463 Kubikmeter; die Temperatur war gleich 20 Grad. Für Längen von

18,00 M. 9,00 M. 4,50 M. 2,25 M. 1,125 M. 0,562 M. 0,28 M. 0,14 M. 0,07 M.

dauerte der Ausfluß

202″ 148″ 106″ 85″ 72″ 59″ 53″ 51″ 51″

und es war Ausfluß der Luft in Sekunden, unter atmosphärischen Druck in Kubikmetern

0,00724 0,00989 0,01380 0,01720 0,02032 0,02480 0,02760 0,0287 0,0287

331. Poncelet hat erkannt, daß die Resultate dieser Versuche sehr gut durch eine Formel dargestellt werden können, welche ist:

$$Q = S \frac{P}{p_1} \sqrt{\frac{2g(P_1 - p_1)}{A_1 + \frac{KL}{D}}} \quad \dots . (3)$$

in welcher Q das unter atmosphärischem Druck ausgeströmte Luftvolum S der Querschnitt der Röhre, P_1 und p_1 den äußern und den innern Druck in verdichteter Luft; A einen 2,475 konstanten Coëffizienten; K einen gleich 0,236 konstanten Coëffizienten; L und D die Länge und den Durchmesser der Röhre darstellen.

Um den Näherungsgrad, welchen die Formel (3) giebt, nachzuweisen, theilt der Verfasser die Berechnungsresultate mit. Nimmt man an, wie es Poncelet gethan hat, 0,004 statt 0,00365 für den Ausdehnungs-Coëffizienten des Gases, um den Irrthum zu korrigiren, der von dem Wasserdampf in der Luft herrührt, ist die Geschwindigkeit $\sqrt{2g(P, - p,)}$, die von dem Druck herrührt gleich 290,23 Met.; S = 0,000083 Kub.-Met.; K. D = 2,36; P,: p, = 2 und die Formel wird in dem vorliegenden Fall:

$$Q = 0{,}048178 \text{ Kubik-Meter} \sqrt{\frac{1}{2{,}475 + 2{,}36\,L}}.$$

Indem man in dieser Formel für L die angegebenen Werthe substituirt, findet man für Q die folgenden Werthe in Kubikmetern

0,00718 0,00989 0,01331 0,01727 0,02067 0,02471 0,02720 0,02876 0,02965

Zahlen, die den bei den Versuchen erlangten so nahe stehen, als man nur erwarten kann.

332. Das Volum Q der unter dem Druck P_1 ausgeströmten Luft würde offenbar gleich $Q\,p_1 : P_1$; und die Ausflußgeschwindigkeit würde gleich $Q\,p_1 : P_1 \cdot S$ sein; wenn man alsdann mit P den Ueberschuß $P_1 - p_1$ und mit p den der Geschwindigkeit o entsprechenden Druck bezeichnet, so wird man haben

$$\frac{v^2}{2g} \text{ oder } p = \frac{P}{A_1 + \frac{KL}{D}}; \text{ oder } P - p = p\left(A_1 - 1 + \frac{KL}{D}\right);$$

und

$$P - p = p\left(1 + A + \frac{KL}{D}\right) \quad \dots . (4)$$

wobei $A = A_1 - 2$. A ist ein konstanter Coëffizient, der den Verlust des Drucks an der Röhrenmündung bezeichnet. Wirklich ist A nach der Poncelet'schen Formel = 0,475 und es steht diese Zahl 0,451, die wir in Nro. 301 für den Coëffizienten des Druckverlustes gefunden haben, sehr nahe.

333. Neue Versuche. -- Der Verfasser hat mehre Reihen von Versuchen mit weißblechernen Röhren angestellt, die mit großer Sorgfalt angefertigt worden waren und von denen jede eine Länge von 0,20 Meter und einen Durchmesser von 0,009 Meter hatte; sie wurden durch Hülsen derart mit einander verbunden, daß sie Röhren von 0,20, 0,40, 0,60, 0,80 und 1,00 Meter Länge bildeten. Die Röhren standen mit dem Behälter entweder direkt oder mittels eines abgestumpften Kegels in Verbindung. Der Verfasser wendete auch Röhren von gezogenem Kupferblech, ebenfalls von 20 Meter Länge an und die möglichst genau denselben Durchmesser hatten. Bei allen diesen Versuchen war, sobald die Mündung eine erweiterte, die Contraktion anfänglich wesentlich 0; denn mit einem kleinen konischen Ansatz von 1 Centimeter war die Ausströmungsgeschwindigkeit genau die dem Druck entsprechende. Alle Versuche entsprachen sehr genau der Formel:

$$P - p = p \cdot \frac{KL}{D}; \text{ daher } p = P \cdot \frac{1}{1 + \frac{KL}{D}},$$

indem man K = 0,024 annahm. Wenn die Leitungsröhren direkt an der großen Röhre von 0,12 Meter Durchmesser angebracht waren, so ließ sich die die Versuche repräsentirende Formel ausdrücken durch:

$$P - p = p\frac{KL}{D} + 0{,}451p; \text{ daher } p = P \cdot \frac{1}{1{,}451 + \frac{KL}{D}}$$

Diese Versuche haben die Genauigkeit der angewendeten Formel sowie den Werth des Coëffizienten K = 0,024 vollkommen bestätigt.

334. Einige mit Röhren, die auf der innern Oberfläche mit einem Ueberzug von verschiedenen Substanzen versehen waren, angestellte Versuche, haben die Annahme, daß die Beschaffenheit der Oberfläche keinen Einfluß habe, bestätigt.

335. Untersuchung der durch Versuche mit dem Ausströmen der Gase durch Leitungsröhren gefundenen Formeln. — Die der Ausströmungs-Geschwindigkeit entsprechende Belastung ist nach den Versuchen von Girard

$$p = P \cdot \frac{1}{\frac{KL}{D}} \quad \dots\dots \quad (a)$$

nach denen von d'Aubuisson

$$p = P \cdot \frac{1}{1 + \frac{KL}{D}} \quad \dots\dots \quad (b)$$

und endlich nach den Versuchen von Poncelet

$$p = P \cdot \frac{1}{1 + A + \frac{KL}{D}} \quad . \; . \; . \; . \; (c)$$

Die Formel von d'Aubuisson (b) unterscheidet sich von der Poncelet'schen (c) nur durch den Ausdruck A, der sich darin nicht findet, welches sich sehr leicht aus dem Umstande erklärt, daß bei den Versuchen dieses Ingenieurs die Abflußröhren mit dem Behälter durch ein kegelförmiges Mundstück in Verbindung standen, wodurch die Contraktion vermieden wurde.

Die Girard'sche Formel (a) unterscheidet sich von der Poncelet'schen (c) durch den Ausdruck 1 + A, welcher sich darin nicht findet; es ist aber, wenn man die Umstände, unter denen diese Versuche angestellt worden sind, untersucht, leicht zu erkennen, daß der Werth von 1 + A gänzlich ohne Einfluß war. Für gußeiserne Röhren war die geringste Länge 128,80 Meter, welches 28,8 für den Werth von K L : D giebt; bei denen die aus Flintenläufen zusammengesetzt worden waren, betrug die geringste Länge 37 Meter, welches 96,2 für den Werth von K L : D giebt. Da nun 1 + A von 1,45 wenig verschieden sein müßte, so sieht man, daß unter den ungünstigsten Umständen die Nenner von dem Werthe p in der Gleichung (c) sein müßten: 28,8 + 1,45 und 96,2 + 1,45, statt 28,8 und 96,2, und es sind folglich die durch die Formeln (a) und (c) erlangten Geschwindigkeitsverhältnisse $\sqrt{\frac{30,25}{28,8}} = 1,027$, und $\sqrt{\frac{97,65}{96,2}} = 1,007$. Es sind demnach unter den Verhältnissen der Versuche die durch (a) und (c) gegebenen Geschwindigkeiten nur um Größen verschieden, die sich jedenfalls innerhalb der Irrungsgrenzen so schwieriger Versuche finden. Man kann daher als durch alle Versuche von Girard, d'Aubuisson und Poncelet genau erwiesen annehmen, daß der durch die Reibung veranlaßte Verlust an Druck, wenn man den Widerstand an der Mündung unberücksichtigt läßt, gegeben ist durch die Formel:

$$P - p = p \frac{KL}{D}.$$

336. Der Werth K ist nach d'Aubuisson für weißblecherne Röhren = 0,024; nach Poncelet ist er für bleierne Röhren wesentlich derselbe; nach Girard wird er aber für gußeiserne Röhren 0,181 und für eisenblecherne Röhren 0,026 sein. Girard hat diesen Unterschied durch die Beschaffenheit der Oberflächen und durch die Geschwindigkeitsveränderungen an den verschiedenen Punkten eines Querschnittes zu erläutern gesucht; es ist aber weit wahrscheinlicher, daß er durch einen Irrthum bei der Bestimmung der Durchmesser veranlaßt wurde. Bei den mit einem Gasometer angestellten Versuchen beträgt die Ausflußgeschwindigkeit, welche von dem Ausfluß in der Sekunde herrührt $Q : \frac{\pi D^2}{4}$; und zur Bestimmung von K hat man nach der Formel von Girard:

$$\left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2 = \frac{PD}{KL}; \text{ daher } K = \frac{P \pi^2 D^5}{16 Q^2 L}.$$

Demnach entsteht aus einem sehr geringen Fehler in Beziehung auf D ein sehr großer in Beziehung auf K. Es ist zu bemerken wichtig, daß die Abweichungen für die große Röhre eine Unregelmäßigkeit der Oeffnungen und für alle beide gewisse Querschnittsveränderungen im Innern der Leitung zur Folge haben können. Von dem Werthe von Q konnte der Irrthum nicht herrühren, weil er zu groß gewesen sein würde, um wahrscheinlich zu sein.

Sei dem nun wie ihm wolle, so ist der durch die zahlreichen Versuche von d'Aubuisson mit weißblechernen Röhren erlangte Werth von K, so wie auch dieselbe Zahl, die aus den Versuchen von Poncelet hervorgeht, und die Gleichheit dieses Coëffizienten für hölzerne, weißblecherne und kupferne Röhren, mögen sie trocken, feucht oder fettig sein, beweisen, welches der Verfasser sehr wohl bestätigt hat. Es sind daher alle diese Resultate ein Beweis von der Constanz des Werthes von K und daß derselbe fast gleich 0,024 sei. Es wird dabei vorausgesetzt, daß der Ueberschuß des Drucks zwischen einigen Centimetern und 10,30 Meter Wasser bei Durchmessern von 0,01 bis 0,10 Meter, für Längen zwischen 0 und 600 Metern, für Luft und für Leuchtgas liege.

337. Die Formel

$$P - p = p \frac{KL}{D}$$

giebt

$$v^2 = 2gP \frac{1}{1 + \frac{KL}{D}}; \text{ oder } v = V\sqrt{\frac{1}{1 + \frac{KL}{D}}},$$

wobei V die theoretische Geschwindigkeit ist. Worauf bezieht sich aber diese Geschwindigkeit? Auf ein verdichtetes oder auf ein gänzlich oder theilweise expandirtes Gas?

Nach den Versuchen von Girard kann, da der Druck sehr gering war, die Geschwindigkeit sowohl als verdichtetem als auch expandirtem Gase angehörig, betrachtet werden.

Bei den Versuchen von d'Aubuisson bezieht sich der beobachtete Druck auf Gase, die durch Reibung in einer viel weitern Röhre als die Ausflußöffnung ist, expandirt sind; die Geschwindigkeit bezieht sich aber auf die Luft von dem Grade des Drucks im Behälter.

Bei den Versuchen von Poncelet endlich bezieht sich die Verschiedenheit sehr entschieden auf verdichtetes Gas; und da bei andern Versuchen von Pecqueur, die ebenfalls der Formel entsprechen, die Ueberschüsse des Drucks sich bis auf $2\frac{1}{2}$ Atmosphären erhält, so muß man die Formel als die Ausströmungsgeschwindigkeit des verdichteten Gases ansehen, wenigstens bis zur Grenze des bei letztern Versuchen angewendeten Drucks.

338. Wenn man daher mit S den Querschnitt der Röhre und mit Q und Q' die nach Maßstab des Druckes P + p und des atmosphärischen Drucks b ausgeflossenen Volumina bezeichnet, so erhält man:

$$Q = Sv = S\sqrt{\frac{2gP}{1 + \frac{KL}{D}}} \text{ und } Q' = \frac{P+b}{b} \cdot S\sqrt{\frac{2gP}{1 + \frac{KL}{D}}}$$

339. Für den Abfluß des Wassers durch cylindrische Röhren hat man nach d'Aubuisson:

$$P - \frac{v^2}{2g} = 0{,}0268\ \frac{v^2 L}{2gD} + 0{,}00007835\ v \cdot \frac{L}{D}.$$

Es ist demnach der Verlust an Druck aus zwei Theilen zusammengesetzt, von denen der eine dem Quadrat und der andere der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional ist. Da aber der numerische Coëffizient dieses letztern Theils sehr klein ist, so ist dieser Ausdruck ohne wesentlichen Einfluß, wenn die Geschwindigkeit etwas bedeutend ist; so ist z. B. für v = 1 Meter der zweite Ausdruck fast 18 mal kleiner als der erste. Nach Coulomb rührt der proportionale Ausdruck für die Geschwindigkeit von der Klebrigkeit der Flüssigkeit her; denn wenn man die Bewegung eines und desselben Körpers unter gleichen Umständen im Wasser und im Oel beobachtet, so findet man, daß der der einfachen Geschwindigkeit proportionale Ausdruck in dem Oel 17 mal größer als in dem Wasser war. Da die Luft nicht klebrig ist, so sieht man, warum der Ausdruck für den Verlust an Druck keinen mit der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportionalen Ausdruck hat. Für Wasser ist der Coëffizient des proportionalen Ausdrucks mit dem Quadrat der Geschwindigkeit gleich 0,0268, während er für Gase nur 0,024 ist; dieser Unterschied und der des Contraktions-Coëffizienten bei Oeffnungen in dünner Wand, haben wahrscheinlich ein und dieselbe Ursache.

340. Nach dem Vorhergehenden fließen verdichtete Gase durch Oeffnungen in dünnen Wänden und an cylindrischen Röhren unter dem Verhältniß des Verbrauchs ab, ganz so wie Flüssigkeiten von gleicher Dichtigkeit; jedoch sind der Contraktions- und der Reibungs-Coëffizient, wahrscheinlich wegen Mangel an jeder Cohäsion etwas verschieden.

341. Dagegen sind aber die in den Röhren vorkommenden Erscheinungen sehr verschieden. Wenn der Querschnitt der Röhre, wie wir dies fortwährend angenommen haben, konstant ist, so ist die Ausflußgeschwindigkeit einer Flüssigkeit in allen Querschnitten dieselbe, wenigstens unter der Annahme, daß sie nicht compressibel ist. Bei den Gasen dagegen findet eine fortwährende Expansion statt und zwar von Anfang bis zu Ende der Röhre, und folglich eine der Geschwindigkeit entsprechende Zunahme. Außerdem ist die während des Ausflusses entstehende Expansion nothwendig von einer Erkaltung und von einer Veränderung der Dichtigkeit begleitet, welche die Erscheinungen weit verwickelter machen.

Da bei den Versuchen von Girard der überschüssige Druck sehr gering ist, so war die Expansion und folglich auch die Abkühlung wenig bemerkbar.

Bei den Versuchen von d'Aubuisson, wobei der Druck 0,06 Atmosphären nie überstieg, war die Abkühlung ebenfalls unmerklich.

Bei den Versuchen von Poncelet hat die Expansion in der 18 Meter langen Röhre höchstens 0,15 Atmosphären betragen, und da die Versuche nur eine kurze Dauer hatten, so mußte die Masse der Röhre ihre Temperatur beibehalten. Es konnte sich daher bei allen diesen Versuchen die Abkühlung nicht fühlbar machen, da die Expansion sehr gering war, oder, weil die Versuche nur eine kurze Dauer hatten. Wenn aber der Ausfluß durch lange Röhren unter bedeutendem Druck und ununterbrochen erfolgte, so nahm auch die Temperatur nach Verlauf einer gewissen Zeit einen

bestimmten regelmäßigen Stand ein, und an jedem Punkt mußte alsdann die Temperatur nicht allein von der Expansion, sondern auch von der Dicke der Röhre, von ihrer Leitungsfähigkeit, Ausdehnung, Oberfläche, Beschaffenheit, sowie auch von der äußern Temperatur abhängen. Man sieht, wie verwickelt diese Erscheinungen sind. Betrachtet man die Form der Gleichung, welche die Abkühlung im Vergleich zu der Expansion ausdrückt, und bemerkt man außerdem, daß die Geschwindigkeiten der elementaren Strahlen von der Mitte bis zur Peripherie zunehmen, wie wir es weiter unten sehen werden, so wird man sehr leicht finden, daß die Frage wegen des Ausströmens der Gase durch lange Leitungsröhren unter großem Druck durch Berechnung wirklich nicht gefunden werden kann.

342. Navier hat durch das Kalkül sehr verwickelte Formeln aufgestellt, mit deren Hülfe man die Ausströmungsgeschwindigkeit einer elastischen Flüssigkeit am Ende einer Leitungsröhre finden kann, sei der Druck übrigens welcher er wolle. Jedoch läßt sich mit diesen Formeln nichts Wirkliches erlangen, denn sie beruhen auf Hypothesen, die der Wahrheit entgegen sind: Sie setzen voraus 1) daß die Gase nach dem Logarithmischen Gesetz ausströmen, von welchen wir redeten, als es sich um die Frage des Ausströmens der Gase durch Oeffnungen in dünner Wand handelte, und wir haben gesehen, daß dieses Gesetz nicht mit der Erfahrung übereinstimmt; 2) daß die Geschwindigkeiten an allen Punkten eines und desselben Punktes gleich sind, d. h. daß der von der Reibung herrührende Widerstand sich augenblicklich an alle Punkte des Querschnitts vertheilt, welches aber ebenfalls im Widerspruch mit der Erfahrung steht; 3) daß die nach und nach stattfindenden Expansionen nicht von einer Temperaturverminderung begleitet sind, welches nur für geringe Expansionen zuläßig ist; 4) endlich, daß der Reibungs-Coëffizient 0,24 sei, eine Zahl, die mit der experimentellen Formel nicht übereinstimmt. Es führen jedoch die Formeln von Navier zu denselben Resultaten wie die von d'Aubuisson und Poncelet, wenn man voraussetzt, daß die Ueberschüsse des Drucks sehr klein sind, indem alsdann die unbestimmten Annahmen verschwinden oder durchaus keinen Einfluß haben.

343. Einfluß der Reibung auf die Geschwindigkeit. — Um den Einfluß der Reibung auf die Geschwindigkeit des Ausflusses der Gase zu bestimmen, wollen wir eine Röhre von 0,10 Meter Durchmesser annehmen, deren successiven Längen sind:

1 M. 10 M. 20 M. 30 M. 40 M. 50 M. 100 M. 500 M. 1000 M.

Die Formel, welche die Ausflußgeschwindigkeit giebt, wenn an der Oeffnung der Röhre kein Verlust der Belastung stattfindet, ist:

$$v = \sqrt{\frac{2gP}{1 + \frac{KL}{D}}} = V\sqrt{\frac{1}{1 + \frac{KL}{D}}};$$

P stellt den Ueberschuß des Drucks in dem Behälter über dem atmosphärischen Druck dar; V die von diesem Druck veranlaßte Geschwindigkeit; L und D die Länge und den Durchmesser der Röhre; K endlich den Reibungs-Coëffizient. Stellt man Berechnungen für die verschiedenen angegebenen Längen an, so findet man für die verschiedenen Werthe der Geschwindigkeit v:

V.0,89 V.0,55 V.0,41 V.0,35 V.0,31 V.0,28 V.0,20 V.0,09 V.0,06.

Es ist demnach der Einfluß der Reibung sehr bedeutend und man sieht aus der Formel leicht, daß die Geschwindigkeiten im Wesentlichen verschieden sind wie die Quadratwurzeln von D : L, wenigstens wenn die Werthe von $\frac{K\,L}{D}$ groß genug sind.

344. Wenn der Kanal aus mehren cylindrischen Röhren bestände, welche die Längen L, L' L'' L''' ....., Durchmesser D', D'', D''' ..... hätten; wenn man mit p', p'', p''' ..... die resp. Belastungen bezeichnet, welche den Geschwindigkeiten der Gase in den Röhren entsprechen und mit L, D und p die Länge, den Durchmesser und die Belastung der äußersten Röhre, oder im Allgemeinen derjenigen, in welcher man die Geschwindigkeit bestimmen will, so würde der gesammte Verlust der Belastung, der von der Reibung herrührt, sein:

$$P - p = \frac{K L'}{D'}\, p' + \frac{K L''}{D''}\, p + \ldots\ldots + \frac{K L}{D}\, p.$$

Nimmt man an, daß das Gas keine wesentlichen Dichtigkeitsveränderungen auf seinem Gange erleidet, welches stets der Fall, wenn die Belastung p sehr klein ist, so werden die Geschwindigkeiten der verschiedenen Röhren im umgekehrten Verhältniß stehen und man wird haben

$$p' = p\,\frac{D^4}{D'^4};\ p'' = p\,\frac{D^4}{D''^4};\ p''' = p\,\frac{D^4}{D'''^4};$$

und der von der Reibung herrührende Verlust wird sein.

$$P - p = p\left[\frac{K L'}{D'}\,\frac{D^4}{D'^4} + \frac{K L''}{D''}\,\frac{D^4}{D''^4} + \ldots\ldots + \frac{K L}{D}\right].$$

345. Wir haben in dem Vorhergehenden vorausgesetzt, daß die Röhre cylindrisch sei; hat aber die Basis der Röhre eine andere Form, die Reibung findet auf dem Umfange eines jeden Durchschnittes statt, und ihre Wirkung vertheilt sich auf den Durchschnitt, so kann man als allgemeinen Ausdruck des durch die Reibung veranlaßten Belastungsdrucks annehmen,

$$P - p = \frac{K' C L}{S}\, p \ \ldots\ldots\ldots \ (a)$$

wobei K' eine konstante Zahl, C der Umfang des Kanalquerschnitts und S seine Oberfläche. Für eine runde Röhre wird dieser Ausdruck:

$$\frac{4\,K'\,\pi\,D\,L}{\pi\,D^2} = \frac{4\,K'\,L}{D};$$

und da man für dieselbe Röhre für die Reibung schon hatte K L : D, so folgt daraus, daß K = 4 K'. Um sich daher des allgemeinen Ausdrucks (a) zu bedienen, muß man für K' $\frac{1}{4}$ von K annehmen, d. h. 0,006.

346. Es folgt aus der allgemeinen Formel (a) daß die Reibung in einer cylindrischen und einer quadratischen Röhre, deren Quadrat in den Kreis des Cylinders eingeschrieben, dieselbe ist; denn in der ersten ist die Reibung K L : D und in der zweiten:

$$\frac{K}{4} \cdot \frac{L \cdot 4D}{D^2} = \frac{K L}{D}.$$

347. Man ersieht auch aus dieser Formel, daß für Röhren von gleichem Querschnitt die Reibung im gleichen Umkreise zunimmt; es ist daher auch stets vortheilhaft, den Leitungsröhren Durchschnitte zu geben, deren beide Dimensionen wenig von einander verschieden sind. Um zu zeigen, wie sehr die Form des Querschnitts Einfluß auf die Reibung hat, wollen wir zwei Röhren vergleichen, die einen gemeinschaftlichen Querschnitt von 0,20 Quadratmeter haben, deren einer Durchschnitt aber ein Quadrat von 0,447 Meter Seite, der andere aber ein Rechteck von 1 Meter auf 0,20 Meter Seite ist; der Umfang der ersteren würde 1,788 Meter und der der zweiten 2,40 Meter sein.

348. Wäre die Röhre konisch, so würde der Ausdruck der Reibung viel komplizirter sein. Nehmen wir einen abgestumpften Kegel A A′ B B′ (Fig. 22. Taf. II.), deren Durchmesser der Basen und deren Höhe durch D D′ und H bezeichnet würden; setzen wir D′ = m D, und bezeichnen wir durch p und p′ die der Geschwindigkeiten der Luft in den Querschnitten A A′ und B B′ entsprechenden Belastungen: so werden wir voraussetzen, daß die Geschwindigkeit der Luft dieselbe eines auf der Achse senkrecht stehendes Durchschnittes ist und wir werden die Reibung auf die Belastung so zurückführen.

Betrachten wir einen sehr dünnen Luftschnitt a b senkrecht auf der Achse, der in einer Entfernung X von A A′ liegt, so wird der Durchmesser dieses Querschnittes sein:

$$D + \frac{(D' - D)\,x}{H} \text{ oder } \frac{D\,(H + (m - 1)\,x)}{H};$$

die Seitenfläche des kleinen abgestumpften Kegels a b wird sein, d x : cos. bac, oder d x : cos. α, indem man mit α den Winkel von einer der Kanten des abgestumpften Kegels mit der Achse bezeichnet. Nennt man p die der Geschwindigkeit der Luft in dem kleinen Element entsprechende Belastung, so wird die Reibung sein:

$$\frac{K'C}{S}\,p = \frac{4K'\pi d}{\cos\alpha\,\pi d^2}\,p = \frac{K}{\cos\alpha\;d} \cdot \frac{D}{d^4}\,p = \frac{p\,K\,H^5\,d\,x}{\cos\alpha\,D\,(H + (m-1)\,x)\,5}.$$

Folglich wird die Reibung in der ganzen Ausdehnung des abgestumpften Kegels sein die Integrale dieses Ausdrucks von O : H, d. h.

$$\frac{KH}{4\;D\;\cos\,\alpha\;(m - 4)}\left(\frac{m^4 - 1}{m^4}\right)p.$$

349. Bezeichnet man mit L die Kante des abgestumpften Kegels, so würde man haben L cos. α = H, und es würde folglich der Ausdruck der Reibung werden:

$$\frac{KL}{4D} \cdot \frac{m^4 - 1}{m^4\,(m - 1)}; \text{ oder } \frac{KL}{4D} \cdot \frac{1}{m - 1},$$

wobei man annimmt, daß m groß genug sei, um die Einheit im Verhältniß zu m^4 unberücksichtigt lassen zu können. Unter dieser letztern Annahme ist die Reibung dieselbe als diejenige, welche in einem Cylinder entstehen würde, der eine Länge L und einen Durchmesser = 4 D (m — 1) = 4 (D′ — D), hat. Ist der Werth von m wenig von der Einheit verschieden, so könnte man für den Widerstand des abgestumpften Kegels des

Cylinders nehmen, der eine gleiche Länge und einen mittlern Durchmesser haben würde. Man würde auf diese Weise eine hinreichende Annäherung für die Praxis erhalten und um so mehr, als die Voraussetzung, auf welche die allgemeine Formel begründet ist, da gleiche Geschwindigkeit in allen Punkten eines und desselben Querschnitts senkrecht auf der Achse durch die Erfahrung nicht bestätigt ist. Die Geschwindigkeit in der Achse ist stets größer als die in der Peripherie und es giebt daher diese Formel für die Reibung einen höhern Werth, als der wirkliche ist.

350. Wenn der Ausfluß durch Röhren erfolgt, welche weder cylindrisch noch konisch sind, so könnte man die Reibung auf dieselbe Weise berechnen, wie für Kegel, vorausgesetzt, daß man die Gleichung der Erzeugungslinie der Oberfläche kennt. Die Hypothese von der Gleichheit der Geschwindigkeit an allen Punkten eines und desselben Querschnitts würde sich aber oft weit mehr von der Wirklichkeit entfernen als bei den Kegeln. Uebrigens sind die Leitungsröhren stets cylindrisch, weil dieß für ihre Ausführung die bequemste und zugleich wohlfeilste Form ist. Andere Oberflächen wendet man nur bei den Verbindungen an, wo der von der Reibung herrührende Widerstand im Allgemeinen gering im Verhältniß zu dem allgemeinen Widerstand ist, und daher fast stets unberücksichtigt bleiben kann.

Sechstes Kapitel.

Richtungsveränderungen bei den Gasleitungsröhren.

Wir werden uns zuvörderst mit dem Einfluß plötzlicher Richtungsveränderungen und dann mit dem der continuirlichen, d. h. mit den gekrümmten Röhren beschäftigen.

351. Plötzliche Richtungsveränderungen. — D'Aubuisson hat einige Versuche über den Einfluß plötzlicher Richtungsveränderungen gemacht und sagt darüber Folgendes:

Die Knie oder Biegungen der Leitungsröhren, wenn sie plötzlich und stark sind, vermehren sie den Bewegungs-Widerstand sehr bedeutend; so haben zahlreiche Versuche bewiesen, daß bei gekrümmten Leitungen 7 Winkel von 45 Grad den Ausfluß um $\frac{1}{4}$ vermindert haben. Es nahm bei diesen Versuchen der Widerstand ebenso zu, wie bei Wasserleitungsröhren, d. h. im Wesentlichen, wie das Quadrat der Geschwindigkeit und fast wie das Quadrat der Sinus der Winkel; über eine gewisse Zahl hinaus war die Verminderung selbst geringer, so daß 15 Winkel einen etwas größern Abfluß veranlaßten als 7 gleich große Winkel. Diese Erscheinung und einige andere Umstände haben jeden Versuch zur selbst nur annähernden Bestimmung des Widerstandes in den Biegungen verhindert.

In der Praxis vermeidet man die nachtheiligen Wirkungen der Biegungen dadurch, daß man sie möglichst abrundet.

352. Nach den Versuchen von **Dubuat** über Wasserleitungsröhren wird der Widerstand einer plötzlichen Richtungsveränderung im Wesentlichen dargestellt durch $p \sin.^2 i$, wobei p die der Ausflußgeschwindigkeit entsprechende Belastung und i der Winkel der zweiten Röhre mit der Verlängerung der erstern ist. Für die unter einem schwachen Druck ausströmenden Gase, die folglich nur geringe Dichtigkeitsveränderungen erleiden, ist es sehr wahrscheinlich, daß die Widerstände der Biegungen demselben Gesetz folgen müßten; allein eine Bestimmung desselben war um so wichtiger, da bei den Versuchen von **Dubuat** die Winkel i stets zwischen 36 und 56 Grad befindlich waren. Das Eigenthümliche von **d'Aubuisson** gefundene Resultat, daß von einer gewissen Grenze aus die Ausflußmenge mit der Anzahl der Winkel zunahm, so läßt es sich nur unter der Annahme erklären, daß die Fugen nicht vollkommen dicht waren.

353. Aus den zahlreichen, von dem Verfasser über plötzliche Richtungsveränderungen angestellten Versuchen geht hervor, daß, wenn der Winkel i (Fig. 23) der zweiten Röhre mit der Verlängerung der ersten zwischen 20 Grad und 90 Grad liegt, der Verlust an Druck gegeben ist durch die Formel:

$$P_1 - p_1 = p \sin^2 i,$$

welche dieselbe ist, wie bei den Wasserleitungen. P_1 ist der Druck vor dem Knie, p_1 der Druck hinter demselben und p der der Geschwindigkeit entsprechende Druck. Für Winkel zwischen 0 und 20 Grad müßte man die Röhre als eine krumme betrachten und alsdann die weiter unten mitgetheilte Formel verwenden.

354. Wäre der Winkel ein gerader (Fig. 24), so würde der Druck der Belastung p sein und für n Veränderungen des rechten Winkels n p.

355. Für einen größern Winkel, (Fig. 25) ist der Verlust der Belastung unsicher. Einige Versuche haben nachgewiesen, daß bei den Winkeln der zweiten Röhre mit der Verlängerung der ersten, die zwischen 10 und 160 Grad liegen, er um 2 p bis 2,28 p schwankte; jedoch haben sie nicht hinreichende Regelmäßigkeit gezeigt, um großes Vertrauen dazu zu haben. Uebrigens kommt dieser Fall nur selten in der Praxis vor.

356. Wenn der gesammte Widerstand der plötzlichen Veränderung im Umfange gleich der Summe der Widerstände eines jeden von ihnen wäre und man denkt sich, daß ein rechter Winkel gebildet von den beiden Röhren **A B** und **B C** (Fig. 26) durch 3, 4 und 5 Röhren ersetzt würde, die symetrisch angebracht sind, so würden die Winkel i gleich und ihre Summe würde = 90 Grad sein. Bezeichnet man nun mit n die Anzahl der Winkel i, so würde der gesammte Widerstand sein:

$$n \sin^2 \left(\frac{90^0}{n}\right).$$

Wenn man n als successiv gleich annimmt mit

1	2	3	4

so werden die Werthe von i sein:

90°	45°	30°	22°30′

deren sinus sind:

1	0,707	0,50	0,382

und die Verluste der Belastung werden:

1	1	0,75	0,58.

Eine einzige Röhre, welche den rechten Winkel durchschneidet, vermindert den Widerstand nicht und drei dazwischen liegende Röhren vermindern ihn etwa nur um die Hälfte.

357. Continuirliche Richtungsveränderungen. Gekrümmte Röhren. — Der älteste Versuch über den Ausfluß der Flüssigkeiten wurde von Bossut gemacht; eine 16,24 Meter lange und 0,027 Meter weite Röhre ließ, wenn sie eine gerade Linie bildete unter einer Wasserbelastung von 0,325 Meter ein Volum von 0,0208 Kubikmeter Wasser in einer Minute ausfließen und 0,02048 Kubikmeter, wenn sie in sich selbst zurückgebogen war, so daß sie sechs abgerundete Knie bildete. Es könnte nach diesem Versuch scheinen, daß die abgerundeten Knie keinen Einfluß auf die ausfließende Menge haben, allein da die Röhre sehr lang war, so war der Verlust an Druck zum Theil durch den versteckt, welcher von der Reibung herrührte.

358. Dubuat hat eine große Anzahl von Versuchen zur Bestimmung des Widerstandes in den abgerundeten Knieen der Wasserleitungsröhren gemacht und er ist auf eine eigenthümliche Erläuterung des fraglichen Widerstandes geführt. Er nimmt an, daß wenn das Wasser aus einem geradlinigten Kanal AB (Fig. 27) ausfließt, und in einem krummlinigten Kanal B C D eintritt, die elementaren Strahlen nicht die Krümmungen der Röhren verfolgen, sondern auf der Oberfläche zurückstrahlen, und daß der durch die krummlinigte Röhre veranlaßte Verlust an Druck, von diesen Zurückwerfungen der Wasserstrahlen herrührt. Nach diesen Versuchen würde der Verlust an Druck den folgenden Ausdruck haben:

$0{,}01230^2 \, (s^2 + s'^2 + s''^2 \ldots)$; oder $p \cdot 0{,}24 \, (s^2 + s'^2 + s''^2 \ldots)$

wobei s, s', s'' u...... die sin. der Zurückwerfungswinkel sind. Nimmt man an, daß die Krümmung der Röhre kreisförmig ist, so sind alle Reflexionswinkel gleich und der vorhergehende Ausdruck wird $p \, n \sin.^2 i$. Die Reflexionswinkel sind die, welche dem mittlern Strahl entsprechen.

359. Obwohl nun diese Erklärung von d'Aubuisson und Dubuat angenommen wird, so ist sie doch nach der Annahme des Verfassers nicht zuläßig; zuvörderst werden tropfbare Flüssigkeiten oder Gase von den Oberflächen, welche sie treffen, nicht reflektirt, und wenn diese Reflexion auch stattfände, so würde sie nicht für alle elementaren Strahlen, die in die krumme Röhre treten, dieselbe, und für einen jeden derselben würden die Werthe von i und m verschieden sein.

360. Der Verfasser hat sehr viel Versuche zur Bestimmung des Druckverlustes in Biegungen (Fig. 28) angestellt und ist zu dem Resultat gelangt, daß man sich wenig von der Wahrheit entfernt, wenn man annimmt, daß der Widerstand einer gekrümmten Röhre von konstantem Querschnitt im Wesentlichen gleich ist:

$$P_1 - p_1 = \frac{i^0}{180^0} \, p,$$

wobei i die Anzahl der Grade des Bogens, p den der Ausflußgeschwindigkeit entsprechenden Druck, P_1 und p_1 den Druck vor und hinter der Krümmung bezeichnet.

361. So würde man für einen Halbkreis, der die Röhre in eine parallele Lage mit der anfänglichen Richtung zurückführt (Fig. 29) haben:

$i = 180$ Grad und der Druckverlust würde p, die Hälfte von dem sein, welcher statt finden würde, wenn die Röhre diese Richtung durch zwei plötzliche Veränderungen von rechten Winkeln (Fig. 30) erlangt haben würde.

362. Gäbe es n continuirliche Richtungsveränderungen, so würde der Verlust der Belastung sein:

$$P_1 - p_1 = n \frac{i^0}{180} p.$$

Siebentes Kapitel.

Veränderungen des Durchschnitts in den Gasleitungsröhren.

Wir werden nach einander den Einfluß der plötzlichen und continuirlichen Zunahme und dann der plötzlichen und continuirlichen Abnahme der Querschnitte der Gasleitungsröhren betrachten.

363. Plötzliche Zunahme des Durchschnitts. — Wenn ein Gas durch eine cylindrische Röhre, deren Querschnitt an einem gewissen Punkte plötzlich abnimmt (Fig. 31.), ausfließt, so wird das unbewegliche Gas, welches im ersten Augenblick den in die zweite Röhre eintretenden Strahl umgiebt, weggerissen und es entsteht rings um denselben eine Verminderung des Drucks, welcher die Ausströmungsgeschwindigkeit der ersten Röhre vermindert. Andrerseits nimmt in einer gewissen Entfernung von der Veränderung des Querschnitts der Gasstrom den ganzen Querschnitt der weiten Röhre ein, und da sich die Dichtigkeit, wenn der Ausfluß unter geringem Druck erfolgt, nicht wesentlich verändert, so muß die Geschwindigkeit nothwendig geringer als in der ersten Röhre sein, und es erfolgt daraus ein Verlust des Drucks, der von den Querschnittsverhältnissen abhängt.

364. Wir wollen uns zuvörderst mit der Zunahme der Belastung, welche eine Folge von der Verminderung des Drucks rings um den Strom ist, beschäftigen. Nennt man v die Geschwindigkeit, welche die Gase in der ersten Röhre haben würden, wenn sie in die Atmosphäre ausmündeten und V die mittlere Geschwindigkeit in dieser erstern Röhre, im Fall der Querschnittszunahme, so hat man $V = \psi v$; wobei ψ ein Correktions-Coëffizient, der größer als die Einheit ist. Es folgt daraus eine Veränderung der Belastung $P_1 - p_1$ welche durch die Formel gegeben wird:

$$P_1 - p_1 = \left(\frac{1}{\psi^2} - 1\right) p = - B p$$

P_1 würde die Belastung sein, wenn keine Erweiterung der Röhre erfolgt wäre, p_1 die Belastung bei der Erweiterung und p die in diesem Fall der Geschwindigkeit in der engen Röhre entsprechende Belastung. Da der Coëfficient ψ größer als die Einheit ist, so muß das zweite Glied nothwendig negativ sein. Nach den Versuchen des Verfassers sind für die

verschiedenen Durchmesserverhältnisse die Werthe für φ und für die Coëffizienten B der entsprechenden Veränderung der Belastung:

Verhältn. der Durchmesser	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Werthe von φ	1,01	1,04	1,10	1,17	1,27	1,37	1,33	1,13	1,10	1
Werthe von $B = 1 - \frac{1}{\varphi^2}$	0,02	0,08	0,17	0,27	0,38	0,47	0,43	0,22	0,17	0

Es giebt daher einen höchsten Effekt für eine plötzliche Zunahme des entsprechenden Querschnitts fast in dem Verhältnisse von 0,6.

365. Wir wollen nun den Verlust der Belastung, der aus der Geschwindigkeitsverminderung in der zweiten Röhre erfolgt, untersuchen. Da die durch die verschiedenen Querschnitte ausgeströmten Volumina offenbar dieselben sind, da man annimmt, daß sich die Dichtigkeit des Gases wenig verändert, so folgt daraus:

$$\frac{v}{v_1} = \frac{D_1^2}{D^2}; \text{ daher } \frac{p}{p_1} = \frac{D_1^4}{D^4},$$

und folglich

$$p - p_1 = p\left(1 + \frac{D^4}{D_1^4}\right); \text{ oder aber } p - p_1 = p_1\left(\frac{D_1^4}{D^4} - 1\right).$$

In diesen Formeln sind p und v die Belastung und die Geschwindigkeit in der ersten Röhre vom Durchmesser D; p_1 und v_1 die Belastung und die Geschwindigkeit vom Durchmesser D_1.

366. Im Ganzen wird die gesammte Veränderung der Belastung die durch eine plötzliche Zunahme des Querschnitts veranlaßt worden ist, ausgedrückt durch die Formel:

$$P_1 - p_1 = p\left(- B + 1 - \frac{D^4}{D_1^4}\right).$$

367. Damit die Erscheinungen, von denen wir hier reden, stattfinden können, ist eine gewisse Länge der zweiten Röhre erforderlich und es folgt aus den Versuchen, daß die geringste Länge durch nachstehende Formel gegeben wird:

$$L = 6,5\ (D_1 - D).$$

368. Wenn ein Kanal aus mehren Röhren (Fig. 32) bestände, die zunehmenden Durchmesser D_1, D_2, D_3, D, und Längen L_1, L_2, L_3,..... L, hätten, und man bezeichnet die den Geschwindigkeiten in den Röhren entsprechenden Belastungen, durch p_1, p_2, p_3,..... p, und durch P die Belastung am Eintritt der ersten Röhre, so würden die auf einander folgenden Verluste der Belastung sein: $P-p_1$, p_1-p_2..... p_n — p und ihre Summe würde P—p sein; der gesammte Verlust würde aber gegeben sein durch die Formel:

$$P - p = \left(\frac{KL_1}{D_1} - B_1 + 1 - \frac{D_1^4}{D_2^4}\right)p_1 + \left(\frac{KL_2}{D_2} - B_2 + 1 - \frac{D_2^4}{D_3^4}\right)p_2 .. + \frac{KL}{D}p.$$

369. Man kann den Verlust der Belastung P—p im Verhältniß zu der einzigen Belastung p und den Dimensionen der Röhren mittels des Verhältnisses: $\frac{p}{p_1} = \frac{D_1^4}{D^4}$ ausdrücken; und die Formel wird

$$P - p = \left[\left(\frac{KL_1}{D_1} - B_1 + 1 - \frac{D_1{}^4}{D_2{}^4}\right)\frac{D_1{}^4}{D^4}\right.$$

$$\left. + \left(\frac{KL_2}{D_2} - B_2 + 1 - \frac{D_2{}^4}{D_3{}^4}\right)\frac{D_2{}^4}{D^4} \cdots\cdots + \frac{KL}{D}\right] p.$$

Mittels dieser Formel ist es leicht, den Werth von p im Verhältniß zu der Belastung am Eingange zu finden und folglich die Ausströmungsgeschwindigkeit am Ende der Röhre zu bestimmen.

370. Ununterbrochene Querschnittszunahme (Fig. 33.) — Wenn zwei cylindrische Röhren von verschiedenen Durchmessern durch einen abgestumpften Kegel mit einander verbunden sind, und das Gas aus der engern in die weite Röhre strömt, so ist die durch die Querschnittsveränderung veranlaßte Wirkung im Wesentlichen dieselbe, als wenn der Kegel in die Atmosphäre ausginge, vorausgesetzt, daß die Länge des abgestumpften Kegels hinreichend sei, d. h. daß in der ersten Röhre eine Geschwindigkeitszunahme stattfindet, die sich mit dem Winkel des Kegels verändert. Die nachstehende Tabelle giebt nach den vom Verfasser angestellten Versuchen den Correktions-Coëffizienten ψ der Geschwindigkeit und den Coëffizienten p der Belastungszunahme für verschiedene Scheitelwinkel des abgestumpften Kegels.

Winkel.	Werthe von		Winkel.	Werthe von	
	ψ	$B=1-\frac{1}{\psi^2}$.		ψ	$B=1-\frac{1}{\psi^2}$.
0°	1,00	0,00	9°	1,95	0,67
1	1,24	0,35	10	1,50	0,56
2	1,48	0,54	12	1,40	0,49
3	1,70	0,66	16	1,35	0,45
4	1,95	0,74	20	1,30	0,41
5	2,25	0,80	25	1,26	0,37
6	2,40	0,83	30	1,18	0,28
7	2,45	0,83	40	1,08	0,14
8	2,30	0,81	50	1,05	0,10

371. Was nun den Belastungsverlust, der von der Geschwindigkeitsverminderung in der zweiten Röhre herrührt, betrifft, so ist er offenbar derselbe, wie bei einer plötzlichen Querschnittszunahme.

372. Kurz die gesammte Belastungsveränderung im Fall einer kontinuirlichen Zunahme des Querschnitts wird durch dieselbe Formel gegeben, wie die für die plötzliche Zunahme geltende.

$$P_1 - p_1 = p\left(-B + 1 - \frac{D^4}{D_1{}^4}\right);$$

allein die Werthe von B sind verschieden.

373. Wenn man eine Reihe von Röhren annehme, die aus abgestumpften Kegeln, unterbrochen durch Cylinder, beständen, welche die Bestimmung haben, die plötzlichen Geschwindigkeitsveränderungen in den elementaren Strahlungen zu vermeiden, so würde man eine Geschwindigkeits-

zunahme erreichen, die mit der Zahl der abgestumpften Kegel zunehmen würde, weil jeder von ihnen, angenommen, daß er dieselben Scheitelwinkel haben würde, dieselbe Wirkung veranlassen müßte. Da aber diese Zunahme auf die Belastung des vorhergehenden Cylinders zurückgeführt werden müßte, so würde er schnell in dem Maß abnehmen, als man sich von dem ersten Kegel entfernen würde. Läßt man die Reibung, deren Einfluß sich fortwährend vermindert, unberücksichtigt, so würde man offenbar haben:

$$P - p = pB\left(1 + \frac{d^4}{D^4} + \frac{d^4}{D'^4} + \frac{d^4}{D''^4} + \frac{d^4}{D'''^4} + \ldots\right);$$

B stellt die durch einen jeden Kegel gewonnene Belastung; d, D, D′, D″, D‴,.... stellen die Cylinderdurchmesser; P und p die der Geschwindigkeit in der ersten Röhre, vor und nach der Hinzufügung des abgestumpften Kegels entsprechende Belastung dar. Nimmt man an, daß die Durchmesser dieser Cylinder in demselben Verhältniß p zu nehmen, so erhält man

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{r};\ \frac{D}{D'} = \frac{1}{r};\ \frac{D'}{D''} = \frac{1}{r};\ \frac{D''}{D'''} = \frac{1}{r};\ \ldots.$$

daher

$$\frac{d}{D'} = \frac{d}{Dr};\ \frac{d}{D''} = \frac{d}{Dr^2};\ \frac{d}{D'''} = \frac{d}{Dr^3};\ \ldots.$$

und

$$P - p = -\,pB\left(1 + \frac{1}{r^4} + \frac{1}{r^8} + \frac{1}{r^{12}} + \frac{1}{r^{16}}\ \ldots.\right) =$$

$$-\,pB\left(1 + \frac{1}{r^4} + \frac{1}{(r^4)^2} + \frac{1}{(r^4)^3} + \frac{1}{(r^4)^4} + \ldots.\right).$$

Wenn die Anzahl der Röhren unendlich wäre, so würde man haben:

$$P - p = -\,pB \cdot \frac{r^4}{r^4 - 1}.$$

Nimmt man r = 1,5 an, so wird man $r^4 = 5{,}06$ und $P - p = -\,pP \times 1{,}246$ haben. Auf diese Weise würde die Belastung um fast ein Viertel erhöhet worden sein und da man alsdann haben würde,

$$P - p = -pB(1 + 0{,}197 + 0{,}0388 + 0{,}00684 + 0{,}00144 + \ldots\ldots),$$

so sieht man, daß der Einfluß der successiven Kegel mit großer Geschwindigkeit abnimmt. Indem der Verfasser die Ausströmungsgeschwindigkeit der Luft durch einen kleinen cylindrischen Ansatz, dem darauf nach und nach 1, 2, 3 Kegel nach der angegebenen Einrichtung folgten, fand er für die Dauer der Ausflußzeiten gleicher Luftmengen unter gleichen Umständen 151″, 132″ 123″. 122″.

374. Plötzliche Querschnittsabnahme. (Fig. 34.) — Wenn ein Gas unter einer geringen Belastung aus einer Röhre in die andre übergeht, die einen weit geringern Durchmesser hat, so wird der Druck der elementaren Strahlen, welche die die zweite Röhre umgebende Oberfläche treffen, geschwächt und die Belastung der ersten geht ohne Veränderung auf

die zweite über. Es findet daher, wenn die Contraktion des Strahls in diesem Fall unberücksichtigt bleibt, kein Verlust der Belastung, der von der Veränderung der Querschnittsöffnung herrührt, statt, wogegen aber die Ausflußmenge vermindert wird.

375. Der von der Contraktion herrührende Belastungsverlust ist ganz derselbe, wenn am Ende einer Röhre ein cylindrischer Ansatz angebracht wird. Wenn man P die Belastung in der ersten Röhre nennt, p die Belastung in der zweiten; p die der Ausströmungsgeschwindigkeit in der letzten Röhre entsprechende Belastung und φ den Correktions-Coëffizienten der Geschwindigkeit, so hat man

$$P - p_1 = p\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1\right) = A p \;\ldots\ldots\; (a)$$

Die nachstehende Tabelle giebt die Werthe von φ und von A für verschiedene Durchmesserverhältnisse an:

Verhältnisse $\frac{d}{D}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Werthe von φ	0,83	0,82	0,83	0,84	0,86	0,88	0,91	0,94	0,97	1
Werthe von A	0,45	0,49	0,45	0,42	0,35	0,29	0,21	0,13	0,06	0

Diese Werthe sind nur annähernde, jedoch von hinreichender Genauigkeit für alle Anwendungen.

376. Um die Verminderung des Ausflusses zu bestimmen, welche eine Folge der Abnahme des Querschnittes ist, wollen wir annehmen, daß ein Gas aus einer Röhre mit dem Durchmesser D, in eine andere mit dem Durchmesser 0,1 D übergehe. Das in 1″ ausgeströmte Volum wird sein

$$Q = \frac{\pi D^2}{400} \sqrt{2\, g\, p}$$

Wenn keine Verminderung des Durchschnittes stattfände, so würde die der Geschwindigkeit in der ersten Röhre entsprechende Belastung sein p (1 + A), weil der Verlust derselben A p ist; und das ausgeströmte Volum würde sein

$$Q_1 = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2\, g\, p\, (1 + A)}.$$

Nimmt man das Verhältniß und ersetzt A durch seinen Werth, so findet man $Q_1 = 120\ Q$.

377. Wenn ein Gas aus einer Reihe von Röhren mit abnehmenden Durchmessern (Fig. 35.) ausströmt, so wird der Belastungsverlust, wenn man die Reibungen unberücksichtigt läßt, durch die Formel gegeben:

$$P - p = A_1 p_1 + A_2 p_2 + \ldots + A p_1$$

wobei man p_1, $p_2 \ldots$ p die der Geschwindigkeiten in jeder Röhre entsprechenden Belastungen, und A_1, $A_2 \ldots$ A die verschiedenen Werthe von $\frac{1}{\varphi^2} - 1$ nennt.

Wenn die Durchmesser bekannt sind, so ist es leicht p_1, $p_2 \ldots$ im Verhältniß zu p auszudrücken, und der Ausdruck reduzirt sich auf

$$P - p = p\left(A_1 \frac{D_1^4}{D^4} + A_2 \frac{D_2^4}{D^4} + \ldots\ldots + A\right) p.$$

Die Durchmesser D, D_1, $D_2 \ldots$ entsprechen respektive den Belastungen p, p_1, $p_2 \ldots$

378. Ununterbrochene Abnahme des Durchschnittes. — Wenn zwei cylindrische Röhren durch einen convergirenden, abgestumpften Kegel mit einander verbunden sind, (Fig. 36), so beobachtet man bei dem Ausströmen des Gases dieselben Erscheinungen wie bei einem convergirenden konischen Ansatze, und der Verlust der Belastung $P_1 - p_1$ ist durch die Formel gegeben:

$$P_1 - p_1 = \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1\right) p = A p,$$

dabei sind P_1 und p_1 die Belastungen vor und hinter den abgestumpften Kegel, und p ist die der Geschwindigkeit in der kleinen Röhre entsprechende Belastung. Der Correktions-Coëffizient φ muß nothwendig mit den Scheitelwinkeln des Kegels verschieden sein, und zwar von der Einheit für einen Winkel von 0 Grad bis zu 0,83 für einen Winkel von 180 Grad. Die nachstehende Tabelle giebt die Werthe der Correktions-Coëffizienten und den Belastungsverlust für die verschiedenen Winkel an:

Winkel	0°	10°	20°	30°	40°	60°	80°	100°	140°	180°
Werthe von φ	1	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83
Werth von A	0	0,13	0,18	0,23	0,29	0,32	0,35	0,38	0,42	0,45

Wir wollen nun den Einfluß der Erweiterungen und Verengungen bei den Gasleitungsröhren betrachten.

379. Einfluß der Erweiterungen. — Wir wollen eine Röhre (Fig. 37) von dem Durchmesser d betrachten, der auf eine gewisse Länge l eine Durchmessererweiterung D hat. Bezeichnen wir mit p die der Geschwindigkeit in der kleinen Röhre entsprechende Belastung, so wird der Belastungsverlust durch die Erweiterung sein:

$$P - p_1 = \left(1 - \frac{d^4}{D^4} - B + A + \frac{Kl}{D} \frac{d^4}{D^4}\right) p.$$

B und A sind die Coëffizienten der Veränderung der Last am Anfang und am Ende der Erweiterung und K ist der Reibungs-Coëffizient. Nehmen wir L $D = 10$; indem man nach und nach dem Verhältniß der Durchmesser die Werthe giebt:

0,9 0,8 0,7 0,6 0,5 0,4 0,3 0,2 0,1

so findet man daß die Verluste der entsprechenden Belastungen sind

0,40p 0,60p 0,60p 0,72p 0,93p 1,13p 1,27p 1,41p 1,43p;

Man ersieht daher, daß der Belastungsverlust mit dem Durchmesser der Erweiterung zunimmt; er nähert sich aber einer konstanten Grenze, welche 1,45 p ist.

Wenn eine Röhre n Erweiterungen (Fig. 38) hätte, deren Durchmesser wenigstens dem 10fachen des Röhrendurchmessers gleich wären, so würde der gesammte Belastungsverlust im Wesentlichen 1,45 n p d. h. fast $1\frac{1}{2}$ mal größer sein, als wenn n plötzliche Richtungsveränderungen mit rechten Winkeln vorhanden wären. Die Versuche stimmen vollkommen mit diesen Formelresultaten, die wir aufgestellt haben, überein, jedoch unter der Bedingung,

daß die Erweiterung eine wenigstens $6\frac{1}{2}$ mal größere Länge habe, als die Differenz der Durchmesser ist. Es darf daraus nicht gefolgert werden, daß die Erweiterungen, welche stets einen Verlust an Belastung veranlassen, nothwendig eine Verminderung der Ausflußmenge herbeiführen, denn die Erweiterungen vermindern die Reibung und es kann vorkommen, daß diese Wirkung die erstere ausgleicht und selbst übersteigt. Es ist zu dem Ende hinreichend, daß man habe:

$$\frac{Kl}{d} > 1 - \frac{d^4}{D^4} - B + A + \frac{Kl}{D}\,\frac{d^4}{D^4}$$

380. Einfluß der Verengungen in den Leitröhren. (Fig. 39.) — Wir wollen eine Röhre von dem Durchmesser D annehmen, die auf eine gewisse Länge l eine Durchmesser-Verminderung d habe. Nennt man p die der Geschwindigkeit in der großen Röhre entsprechende Belastung, so wird der Belastungsverlust sein:

$$P - p_1 = \left(1 - \frac{d^4}{D^4} - B + A + \frac{Kl}{d}\right)\frac{D^4}{d^4}\,p.$$

Es folgt aus dieser Formel, daß der Belastungsverlust fortwährend in dem Maß zunimmt als der Durchmesser der Verengerung geringer wird.

Wenn die Verengungen durch Scheider (Fig. 40) veranlaßt werden, so würden die Wirkungen offenbar dieselben sein, und ebenso die Formel, welche den Belastungsverlust angiebt. Es ist jedoch stets nöthig, in diesem Falle zu beobachten, daß es nicht der Durchmesser des Scheiders ist, den man in die Formel setzen muß, sondern den Durchmesser des zusammengezogenen Querschnittes.

Achtes Kapitel.

Ausfluß der Gase durch Röhren von beliebiger Form.

381. Allgemeine Formeln von dem Belastungs-Verlust. — Wenn ein Gas aus einer Röhre von irgend beliebiger Form ausfließt, so erleidet sie Widerstände von verschiedener Beschaffenheit; nun haben wir aber gesehen, daß sie alle proportional dem Quadrat der Ausflußgeschwindigkeiten sind. In den vorhergehenden Kapiteln haben wir den Werth der Belastungsprodukte, die von einem jeden dieser Widerstände einzeln herrühren, angegeben, und es ist ganz offenbar, daß der gesammte Belastungsverlust gleich der Summe der partiellen Verluste ist, die sich auf das Ausströmen der Gase durch irgend eine Röhre beziehende Formel ist:

$$P - p = \Sigma\frac{KL}{D}\,p_1 + \Sigma\left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)p_2 + \Sigma A\,p_3 - \Sigma B\,p_4$$
$$+ \Sigma \sin^2 i^0\,p_5 + \Sigma\,\frac{i^0}{180}\,p_6;$$

P ist der Ueberschuß des Drucks in dem Gasbehälter, über dem mittlern unter welchem das Gas ausströmt, p die der Geschwindigkeit am freien Ende der Leitung entsprechende Belastung; p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, sind die den Geschwindigkeiten an den verschiedenen Punkten, an denen sich die Widerstände zeigen, entsprechenden Belastungen. Der erste Ausdruck $\frac{\Sigma K L}{D} p_1$ stellt die Summe der von der Reibung herrührende Belastungs-Verluste dar; der zweite Ausdruck $\Sigma \left(\frac{1 - d^4}{D^4}\right) p_2$, die Summe der Verluste, die von den Geschwindigkeitsverminderungen der Zunahme des Querschnitts herrühren; der dritte $\Sigma A p_3$ die Summe der Verluste, die von den Contraktionen von Querschnittsverminderungen herrühren; der vierte $\Sigma B p_4$ die Summe der Vermehrungen der Belastungen, die von den Expansionen durch Zunahme des Durchschnitts herrühren; die fünfte $\Sigma \sin.^2 i^0 p_5$, und die sechste $\Sigma \frac{i^0}{180^0} p_6$ die Summe der Verluste durch die plötzlichen und ununterbrochenen Veränderungen der Richtung.

Es ist leicht, eine jede von den Belastungen $p_1, p_2, \ldots . p_6$ im Verhältniß von p auszudrücken; denn wenn die Geschwindigkeiten v und v_1 in den Röhren stattfinden, deren Durchmesser b und d_1 sind, so ist es klar, daß, wenn man nicht eine wesentliche Dichtigkeitsveränderung der Gase annimmt, man haben würde:

$$p_1 = p \frac{d^4}{d_1{}^4};$$

und eben so für den andern Druck. Man kann auf diese Weise die allgemeine Formel aufstellen, welche den gesammten Verlust der Belastung unter folgender Formel giebt:

$$P - p = R p, \; p = \frac{P}{1 + R} \text{ und } v = V \sqrt{\frac{1}{1 + R}};$$

R ist eine Zahl, die nur von der Form und den Dimensionen der Röhre abhängt und die man a priori berechnen kann; v ist die wirkliche Geschwindigkeit am Ende der Röhre und V die theoretische, von der Belastung P herrührende Geschwindigkeit.

Es läßt sich daraus eine sehr wichtige Folgerung machen, nämlich daß für eine und dieselbe Gasleitung die Ausströmungsgeschwindigkeit, sei der Druck welcher er wolle, stets ein und derselbe Bruch von der theoretischen Geschwindigkeit ist, d. h. von derjenigen, welche stattfinden würde, wenn die Leitung keinen Widerstand leistete.

382. Wenn das Gas beim Durchströmen einer als horizontal angenommenen Leitung Temperatur-Verminderungen erlitte, so würde die Ausströmungsgeschwindigkeit am Anfang nur durch Widerstandsveränderungen modifizirt werden, welche Geschwindigkeitsveränderungen hervorbringen, die von den Ausdehnungen und Contraktionen herrühren. Den Grund davon erkennt man leicht, die Contraktionen und die Expansionen, welche von den Temperaturveränderungen herrühren, müssen, da sie nach beiden Richtungen gleich wirken, sich nothwendig aufheben. Es ist dieß übrigens eine Thatsache, die der Verfasser durch weiter unten mitzutheilende Versuche

bestätigt hat. Wenn aber die Ausdehnung der Röhre nicht horizontal wäre, und wenn die verschiedenen Theile verschiedene Temperaturen hätten, so würde der Werth von P Veränderungen erleiden, mit denen wir uns in dem folgenden Buche beschäftigen werden.

383. Es ist stets zweckmäßig, den Gasleitungsröhren eine größere Weite zu geben, als die Berechnung angiebt, da stets einige Vorsichtsmaßregeln zu beachten und Verluste zu berücksichtigen sind, die man nur durch eine überschüssige Belastung ausgleichen kann, welche wiederum neue erzeugt. Um einen Begriff von den Gasverlusten durch Undichtigkeiten in den mit größter Sorgfalt gelegten Gasleitungsröhren zu geben, sollen hier die Resultate einiger Versuche angegeben werden, die in einer Pariser Gasanstalt gemacht worden sind. Zu dieser Zeit hatte die große Leitung eine Länge von 4905 Meter und bestand aus Röhren von 0,216 und 0,3224 Meter Durchmesser. Unter Belastungen von Wassersäulen von 0,0225, 0,0450, 0,0675 und 0,09000 Meter betrugen die Verluste durch Ritzen, abgeleitet aus dem Niedergange des Gasometers, wenn alle Oeffnungen verschlossen waren, stündlich 6,362, 25,174, 34,428, und 45,927 Kubikmeter. Die Verluste müssen nothwendig mit der Länge, mit dem Durchmesser der Röhren und hauptsächlich mit der Beschaffenheit der Verbindungen, verschieden sein. Die erwähnten Beobachtungen bestätigen eine überall vorkommende wichtige Thatsache, daß nämlich die Verluste durch Undichtigkeiten nach den Gesetzen der Bewegung der Gase nach der Quadratwurzel des Drucks zunehmen müsse, während sie nach der Erfahrung nach einem weit schnellern Gesetz zunehmen. Die Ueberschüsse der Belastung haben in dem Verhältniß der Zahlen 1, 2, 3, 4, deren Quadratwurzeln, 1,417, 1,732 und 2 sind, geschwankt; während die Verluste den Zahlen 1, 3,78 5,51 und 7,21 proportional sind. Diese eigenthümliche Erscheinung läßt sich nicht anders erklären, als wenn man annimmt, daß das Gas durch die sehr feinen Ritzen nur unter um so höhern Belastungen ausströmt, je kleiner sie sind.

384. **Druck der von den Gasen in den Leitungsröhren ausgeübt wird.** — Die von uns aufgestellte Formel kann bei geringem Druck mit hinreichender Annäherung angewendet werden, und da sie direkt aus der Erfahrung abgeleitet ist, so braucht man sich nicht in Beziehung auf das ausgeströmte Volum mit den Erscheinungen zu beschäftigen, die in den Leitungsröhren vorkommen, und die, wie wir gesehen haben, sehr verwickelt sind. Der Verfasser hat aber eine Reihe von Versuchen in der Absicht angestellt, um die hauptsächlichsten Thatsachen kennen zu lernen, hauptsächlich in der Hoffnung, die Ausströmungsgeschwindigkeit aus einfachen manometrischen Beobachtungen ableiten zu können.

385. Bei allen Versuchen, deren Resultate hier mitgetheilt werden sollen, hat der Verfasser das Wassermanometer mit geneigter Röhre (241) angewendet; man kann damit $1/_{30}$ Millimeter Wasser beobachten. Der Druck wurde mittels einer sehr feinen und dünnen Glasröhre mitgetheilt. Um am Ende der Röhre den Druck zu beobachten, welcher von der Luft in der der Geschwindigkeit entgegengesetzten Richtung hervorgebracht worden war, und den wir den Längendruck nennen wollen, war die kleine Glasröhre gerade und man versenkte sie mehr oder weniger in die Röhre parallel mit deren Achse. Das Glasröhrchen stand mit dem Manometer mittels einer Kautschukröhre in Verbindung. Ohnerachtet des geringen

innern Durchmessers des Haarröhrchens, der oft weniger als $^1/_5$ Millimeter betrug, war die Angabe des Manometers, wenn er mit einem Luftbehälter unter konstantem Druck in Verbindung stand, derselbe, als wenn die Verbindung durch eine Röhre mit großem Querschnitt stattfand; es stellte sich nur das Gleichgewicht langsamer her.

386. Dieses Verfahren konnte zur Beobachtung des manometrischen Drucks in großen Entfernungen von dem freien Ende der Röhre und im Innern nicht angewendet werden. Der Verfasser bediente sich daher gläserner Haarröhrchen b (Fig. 41), die rechtwinklich gebogen waren, und die man in Röhren einführte, welche auf der Röhre **B C** angebracht waren. Es wurden diese Hälse aber auch zur Messung des Drucks gegen die Oberfläche der Röhre angewendet, d. h. zur Messung des Seitendrucks, wozu man eine kleine gerade Röhre a benutzte, die senkrecht auf der innern Oberfläche stand und deren Ende gleich mit derselben war.

387. Die mit diesen Versuchen erlangten Hauptresultate waren die folgenden:

1) der Längendruck vermindert sich stets von dem Gasbehälter bis zum offenen Ende der Röhre. An der Oeffnung ist der Längendruck gleich dem im Behälter;

2) der Längendruck vermindert sich von der Mitte der Röhre nach der Peripherie. Dieses leicht vorher zu sehende Resultat ist, wie schon bemerkt, eine natürliche Folge der Reibung;

3) am offenen Ende der Röhre ist der Längendruck in der Achse größer als der der Ausflußgeschwindigkeit entsprechende und er ist geringer an der Oberfläche der Röhre. Der Längendruck in einer Entfernung von der Oberfläche der Röhre, die gleich $^1/_3$ des Halbmessers ist, entspricht fast dem der Ausströmungsgeschwindigkeit;

4) der Seitendruck vermindert sich nach der Oeffnung am freien Ende der Röhre, wo er 0 ist;

5) die Differenz zwischen dem Längendruck in einer Entfernung von der Oberfläche der Röhre, die gleich $^1/_3$ des Halbmessers ist, sowie auch der Seitendruck, ist konstant. Diese Differenz drückt die der mittlern Ausströmungsgeschwindigkeit entsprechende Belastung aus.

388. Manometrische Messung der Geschwindigkeit in einer Röhre. — Um mit Hülfe eines Manometers die Ausströmungsgeschwindigkeit eines die Röhre durchlaufenden Gases mit Hülfe eines Manometers zu bestimmen, muß der Manometer die in Fig. 42 angegebene Einrichtung haben. a b c ist eine kleine Röhre, deren Theil b c parallel mit der Achse der Röhre und in einer $^1/_3$ des Halbmessers entsprechenden Entfernung von der Oberfläche befindlich ist. Eine andere Röhre e e′ ist gerade, steht senkrecht auf der Achse der Röhre und ihr Ende liegt mit der innern Oberfläche gleich. Diese beiden Röhren stehen durch Kautschukröhren mit den beiden Enden des Manometers in Verbindung. Es ist nun klar, daß die Manometerhöhe den Unterschied des Drucks, den die beiden Enden c e′ erleiden, angeben müsse, und nach dem Vorhergehenden wird dadurch der Geschwindigkeit des Strahls, der den Punkt c trifft, entsprechende Belastung angegeben; diese Geschwindigkeit ist aber der mittlern wesentlich gleich. Der Röhrenhals müßte hinlänglich weit von den Punkten entfernt sein, an denen die Röhre plötzliche oder fortlaufende Veränderungen des Querschnitts oder der Richtung hat, weil in der Nach-

barschaft dieser Punkte Störungen in dem Verhalten der Gasstrahlen entstehen. Die Manometerskala könnte mit Angabe der Geschwindigkeiten versehen sein, die dem überschüssigen Druck entsprechen.

Diese Methode würde der Anwendung der Flügel-Anemometer weit vorzuziehen sein, indem dieselben nur in Röhren von großem Durchmesser angewendet werden können, da die Flügel nur weite Kreise beschreiben und stets eigenthümliche und verwickelte Einrichtungen erfordern. Sie geben auch übrigens die Geschwindigkeit nur für den Augenblick der Beobachtung an, während das Manometer stets in Wirksamkeit ist und die Belastung, welche den Ausfluß angiebt, fortwährend anzeigt. Wenn aber die Geschwindigkeiten des Gases nur gering sind, so müßte das Manometer eine große Empfindlichkeit haben; denn für Geschwindigkeiten der Luft von 0 Grad, unter atmosphärischem Druck von 0,76 Meter von

1 M. 2 M. 3 M. 4 M. 5 M. 6 M. 7 M. 8 M. 9 M. 10 M.

betragen die entsprechenden Wasserbelastungen in Millimetern:

0,066 0,26 0,59 1,059 1,655 2,38 3,24 4,23 5,34 6,62

Wir kommen auf diese Frage in einem der folgenden Kapitel zurück.

389. Seitendruck. — Es ist leicht, den Werth des Seitendrucks an irgend einem Punkt einer Leitung zu finden. Nennen wir P den Ueberschuß des Drucks von dem Gase in dem Behälter über dem atmosphärischen Druck; P_1 den mittlern Längendruck in irgend einem Durchschnitt; p_1 den Seitendruck in demselben Querschnitt und p die der mittlern Geschwindigkeit am Ende der Röhre entsprechende Belastung. Der Verlust der Belastung von dem betrachteten Querschnitt bis zum Ende der Röhre würde offenbar $P_1 - p$ sein und man würde haben (381) $P_1 - p = p\,r$; wobei r die Summe der Widerstände in der vorhergehenden Länge der Röhre bezeichnet, die, wie wir gesehen haben, nur von der Form und den Dimensionen der Röhre abhängt; aber (387—5°) $p_1 = P_1 - p$, daher $p_1 = p\,r$.

Wollte man p_1 im Verhältniß zu P haben, so würde es hinreichend sein zu bemerken, daß $P - p = p\,R$, wobei R die Summe der Widerstände für die ganze Röhre (381); es folgt daraus $p_1 = P \frac{r}{1 + R}$.

390. In dem Vorhergehenden wurde die Röhre als horizontal angenommen, und der atmosphärische Druck als der gleiche rings um der Röhre und an ihrem Ende; es mußte folglich der durch Berechnung angegebene Seitendruck mittels eines Manometers gemessen werden, dessen einer Zweig mit einer Röhre in Verbindung stand, die senkrecht auf die Oberfläche der Röhre und in gleicher Ebene mit dieser Oberfläche auslief, während der andere Arm mit der Luft in Verbindung stand. Hätte aber die Röhre keine horizontale Lage, so könnte es nicht mehr so sein; da der berechnete Druck den Ueberschuß des innern Drucks über den atmosphärischen am Ende der Röhre darstellt, so müßte man offenbar, um den Ueberschuß des innern Drucks über den atmosphärischen bei gleicher Höhe zu erlangen, wenn sich die Röhre erhöbe, von dem Resultat der Berechnung die Höhe einer Luftsäule abziehen, die gleich der senkrechten Entfernung des betrachteten Punktes von dem höchsten Punkte der Röhre gleich ist; eine Höhe, welche vorher in eine Höhe des äquivalenten Gases verwandelt

werden müßte. Hätte die Röhre ein Fallen, so müßte die Luftsäule hinzugesetzt werden. Es folgt daraus eine wichtige Thatsache: wenn verdichtete Luft durch eine senkrechte Röhre unter geringer Belastung ausfließt, so kann der von einem Manometer angegebene Seitendruck positiv oder negativ sein.

Betrachten wir daher eine senkrechte Röhre von der Höhe H und suchen wir den Seitendruck in einer Höhe h. Wenn das Ausströmen der Luft durch den untern Theil erfolgt, so wird der von dem Manometer angegebene Seitendruck sein: $p_1 = pr + h$, wobei r den Widerstand der Röhre von der Höhe h bis zu dem untern Theil darstellt. Wenn dagegen der Ausfluß durch den obern Theil erfolgt, so hat man $p_1 = pr_1 - (H - h)$, wobei r_1 den Widerstand der Röhre von der Höhe h bis zu dem obern Theil bezeichnet. Man sieht aus dieser letztern Formel, daß wenn $H - h$ größer ist als pr_1, der Seitendruck negativ sein muß.

391. Es muß nothwendig bemerkt werden, daß diese Formeln nur auf die Theile der Leitung angewendet werden können, die sich in hinreichender Entfernung von den Punkten befinden, an denen plötzliche oder kontinuirliche Veränderungen des Durchschnitts oder der Richtung vorhanden sind.

392. Einfluß des Höhenunterschiedes der beiden Enden der Leitung. — Wenn die Enden einer Gasleitung nicht in einer gleichen Ebene liegen, so hat der Höhenunterschied keinen Einfluß auf die Ausflußgeschwindigkeit, wenn das Gas gleiche Dichtigkeit mit der äußern Luft hat; im Allgemeinen findet eine solche Gleichheit nicht statt, selbst wenn Luft ausfließt und zwar wegen der Unterschiede der Temperatur und des Drucks. In diesem Fall erhält man die Belastung P, welche den Ausfluß veranlaßt, auf folgende Weise. Man berechnet den Unterschied des Gewichts zweier Säulen, einer Luftsäule und einer andern von komprimirten Gasen, die einen gleichen Querschnitt und als gemeinschaftliche Höhe den Niveau-Unterschied beider Enden der Leitung, auf die der atmosphärische Druck ausgeübt wird, haben. Man drückt diesen Unterschied in einer Säule von komprimirten Gas aus und setzt ihm den Druck im Reservoir zu oder zieht ihn davon ab, je nach dem vorkommenden Falle. Bezeichnet man mit h den Unterschied des Niveaus zwischen dem Behälter und der Ausflußöffnung, die in einem niedrigern Niveau liegen soll, mit d die Dichtigkeit des zusammengepreßten Gases, so wird die Zunahme der fraglichen Belastung sein, $h (d - 1) : d$, ein Ausdruck, der negativ wird, sobald d kleiner als die Einheit, oder wenn h selbst negativ ist. Diese Correktion ist sehr klein und kann unberücksichtigt bleiben, sobald die Belastungen bedeutend sind; wenn dieselben aber gering sind, ist es oft unerläßlich, sie zu berücksichtigen, besonders wenn der Höhenunterschied der beiden Enden der Leitung bedeutend ist. Wir wollen z. B. eine Röhre annehmen, die mit einem Leuchtgasgasometer in Verbindung steht, deren oberes Ende, durch welches das Gas ausströmt, 100 Meter über dem Gasometer liegt; wenn nun die mittlere Dichtigkeit des Leuchtgases 0,55, so wird die Zunahme der Belastung positiv und $= 100 \cdot 0,45 : 0,55 = 81,81$ Meter in Luft, und 0,058 Meter im Wasser sein. Man erkennt demnach leicht, daß es vortheilhaft ist, die Gasfabriken an Orten anzulegen, die unter denen sich befinden, wohin das Gas geleitet werden soll, weil alsdann die

Versorgung unter einem geringern Druck bewerkstelligt werden kann und ein geringerer Verlust durch die Röhren u. s. w. erfolgt.

393. **Ausfluß eines Gases durch einen Kanal, der auf eine gewisse Länge sich in mehrere Röhren theilt, welche gleichzeitig von Gas durchströmt werden.** — Wir haben in dem Vorhergehende nangenommen, daß der von dem Gase durchströmte Kanal aus einer einzigen Röhre bestände; wir wollen aber jetzt annehmen, daß der Kanal auf einen gewissen Theil seiner Länge in mehre Zweige getheilt sei, die gleichzeitig durchströmt werden; z. B. daß der Kanal durch zwei Kammern unterbrochen werde, welche eine gewisse Anzahl von Röhren vereinigen.

Nehmen wir zuvörderst an, daß nur zwei Röhren vorhanden seien, von denen l, l'; d, d'; s, s', die Längen, die Durchmesser und die Querschnitte darstellen; bezeichnen wir mit S den Querschnitt des obern und des untern Theiles des Kanales, durch V die Geschwindigkeit in diesen Theilen, und durch v und v' die Geschwindigkeiten in den beiden Verbindungsröhren der beiden Kammern. Man wird alsdann $SV = sv + s'v'$ haben, und da die Spannungen der Luft am Anfang der Verbindungsröhren und an ihren Enden dieselben sind, so wird man haben:

$$\frac{v}{v'} = \sqrt{\frac{d' + Kl'}{d + Kl} \cdot \frac{d'}{d}} = m; \text{ und } SV = sv + s'mv;$$

daher

$$v = \frac{SV}{s + s'm}; \text{ und } v' = \frac{SVm}{s + s'm}.$$

Alsdann sind die Widerstände der beiden Röhren:

$$\frac{Kl}{d} \cdot \frac{S^2}{(s + s'm)^2}; \text{ und } \frac{Kl'}{d'} \cdot \frac{S^2 m^2}{(s + s'm)^2}.$$

Da aber die Luft gleichzeitig durch die beiden Röhren ausströmt, und der Widerstand derjenige ist, den jeder Elementar-Strahl erleidet, so wird der Widerstand in den Biegungen der mittlere in beiden Röhren und folglich sein:

$$\frac{1}{2} \frac{KS^2}{(s + s'm)^2} \left(\frac{l}{d} + \frac{m^2 l'}{d'}\right).$$

Wenn die Röhren dieselbe Länge und denselben Durchmesser hätten, so würde sich der vorhergehende Ausdruck reduziren auf: $KS^2 l : 4 s^2 d$; und in dem Fall, daß der Querschnitt des Kanals keine Veränderung erlitten hat, würde man haben $2s = S$, während sich der Widerstand auf $Kl : d$ reduziren würde.

Hätte man 3 Röhren von ungleichen Dimensionen, so würde man wie vorher haben:

$$VS = sv + s'v' + s''v'', \text{ und}$$

$$\frac{v'}{v} = \sqrt{\frac{d + Kl}{d' + Kl'} \cdot \frac{d'}{d}} = m; \quad \frac{v''}{v} = \sqrt{\frac{d + Kl}{d'' + Kl} \cdot \frac{d''}{d}} = m';$$

$$SV = sv + s'mv + s''m'v;$$

$$v = \frac{SV}{s + s'm + s''m'}; \; v' = \frac{mSV}{s + s'm + s''m'}; \; v'' = \frac{m'SV}{s + s'm + s''m'};$$

und der mittlere Widerstand würde betragen:

$$\frac{1}{3} \frac{KS^2}{(s+s'm+s''m')^2}\left(\frac{l}{d}+\frac{l'm^2}{d'}+\frac{l''m'^2}{d''}\right);$$

Dieser Widerstand würde sich, unter der Annahme, daß die drei Röhren gleiche Dimensionen haben, reduziren auf $KS^2l : 9s^2d$ und auf $Kl : d$ wenn man hat $3s = S$. Diesem nach würde man den Widerstand für eine beliebige Anzahl von Röhren leicht finden können.

394. Aus dem Obigen geht offenbar hervor, daß wenn der Strom in einer Biegung auf eine gewisse Länge sich in eine große Anzahl gleiche Röhren theilte, der Widerstand derselbe von dem sein würde, den die Luft von einer einzigen Röhre erleidet, wenn die Summe der Querschnitte der Röhren gleich dem Querschnitt von dem obern und untern Theil des Kanals wäre; und wenn die Querschnitte verschieden um $Kl \cdot S^2 : dS_1{}^2$ wären; $S_1{}^2$ ist gleich der Summe der Röhrenquerschnitte. Dieses Verhältniß findet sich bei den Lokomotiven und bei vielen Generatoren der Dampfschiffe. Da nun dieser Grundsatz eine große Wichtigkeit hat, so wird es zweckmäßig sein, ihn durch eine andere Methode zu erklären.

Der Widerstand, den die Luft erleidet, indem sie eine cylindrische Röhre von irgend einer Form durchströmt, ist (345) durch den Ausdruck $KCl : 4S_1$ bezeichnet, in welchem C den Umfang der Röhre, S_1 ihren Querschnitt und l ihre Länge darstellt. Wenn man nun die Anzahl der Röhren mit l und ihre Durchmesser mit d bezeichnet, so wird man haben: $C = n\pi d$, $S_1 = n\pi d^2 : 4$, und folglich wird der Widerstand $Kl : d$ sein. Wenn nur die Summe der Querschnitte S der Röhren nicht gleich dem Querschnitt S des obern und des untern Kanals sein würde, so würde der Widerstand auf die obere und untere Belastung zurückgeführt, werden $Kl . S^2 : dS_1{}^2$.

395. **Ausströmung eines in einem Kanal verdichteten Gases, aus welchen es in Seitenleitungen vertheilt wird.** — Betrachten wir zuvörderst einen Kanal von einem konstanten Querschnitt S, und seien $s, s', s'' \ldots$ die Querschnitte der Seitenleitungen. Lassen wir die Widerstände in dem Kanal unberücksichtigt. Wir wissen daß man im Allgemeinen hat (381):

$$Q = S\sqrt{\frac{2gP}{1+R}};$$

Q ist das in einer Sek. ausgeflossene Volum des Gases, P die Belastung oder der Druck in Gas und R die Summe des Widerstandes in der Röhre. Man kann nun den Faktor $1 : (1 + R)$ als die Belastung, P, oder die Quadratwurzel dieses Faktors als den Querschnitt ausdrückend, bezeichnen. Wenn man nun mit $m, m', m'' \ldots$ die Werthe dieser Faktoren für diese verschiedenen Röhren bezeichnet, so könnte man das Ausströmen als durch Oeffnungen als in dünner Wand stattfindend ansehen und es würden die reduzirten Oberflächen gleich sein: $ms, m's', m''s'', \ldots$ Bemerken wir jetzt, daß die Geschwindigkeit des Stroms nach dem Durchgang vor der ersten Oeffnung in dem Verhältniß $S : S + ms$ vermindern; nach der zweiten in dem Verhältniß von $S : S + m's' + m's'$, u. s. f.; daß dasselbe Verhältniß auch mit dem Ueberschuß des Drucks, der sich in dem Strom befindet, vorhanden sei, wenigstens, wenn man das Gas mit einer Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit vergleicht und indem man den

Widerstand, den das Gas in der Gasröhre erleidet, unberücksichtigt läßt. Bezeichnet man mit P die Belastung in dem Behälter, mit p, p′, p″ . . . die Belastungen an den Oeffnungen, welche die Röhre ersetzen, so hat man:

$$p = P;\ p' = \frac{PS}{S + ms};\ p'' = \frac{PS}{S + ms + m's'}; \ldots (a)$$

Belastungen, die sämmtlich im Verhältniß zu den auf Querschnitten in einer dünnen Wand reduzirten ms, m′s′ . . . . u. s. w. stehen.

396. Wenn der Querschnitt des Kanals nicht sehr groß in Beziehung auf die gesammten Querschnitte der Röhren ist, oder wenn der Kanal sehr lang ist, so kann man die Widerstände, welche die Gase darin erleiden, nicht unberücksichtigt lassen; allein in diesem Fall ist es ebenfalls leicht, die Werthe von p, p′, p″ . . . ., zu bestimmen. Bezeichnen wir mit r, r′, r″ . . . . die Widerstände, welche das Gas bis zur ersten, von der ersten bis zur zweiten, von der zweiten bis zur dritten Oeffnung u. s. w. erleiden muß, so wird man offenbar haben:

$$p = \frac{P}{1 + r};\ p' = \frac{PS}{(1+r)(1+r')(S+ms)};$$

$$p'' = \frac{PS}{(1+r)(1+r')(1+r'')(S+ms+m's')}.$$

Das Gesagte setzt nothwendig voraus, daß der äußere Druck auf die verschiedenen Oeffnungen derselbe geblieben ist und daß folglich der Kanal im Wesentlichen eine horizontale Lage hat.

397. Wenn ein Gas, dessen Dichtigkeit gegen die der Luft verschieden ist, durch eine Röhre von konstantem Querschnitt ausfließt, jedoch bald steigt und bald fällt, wie dies bei Leuchtgas oft der Fall ist, so würde der Druck, den das Ausströmen in den Seitenleitungen veranlaßt, wegen des Einflusses der verschiedenen Höhen sehr schwierig zu berechnen sein. Bei Gasleitungen würden die Berechnungen übrigens auch zu nichts dienen können, weil die Seitenleitungen nicht immer geöffnet sind, und weil der Verschluß von einer derselben sehr wesentliche Veränderungen veranlaßt. Im Anfang hat man Druckveränderungen, welche das Ausströmen des Gases durch die Brenner veranlaßten, dadurch vermeiden zu müssen geglaubt, daß man in der Leitung einen hinreichenden Drucküberschuß selbst für die ungünstigsten Fälle veranlaßte; dieser Fall ist aber der, in welchem alle Brenner angezündet sind und der Consument jeden Hahn besonders regulirt, um eine zweckmäßig lange Flamme zu erhalten. Die Gasfabriken erkannten aber sehr bald, daß für sie aus dem veränderlichen Druck in den Brennern ein sehr wesentlicher Verlust entstehe, den man nicht anders verhindern könne, als wenn man den Hahn stets in der Hand behielt. Pauwels hat den Druck des Gases am Eingang einer Röhre mittels eines Schutzes zu begrenzen gesucht; derselbe verengt die Eintrittsöffnung und wird durch ein kleines Gasometer in Bewegung gesetzt, auf welches im Innern die Luft und im Aeußern das Gas drückt, so daß die Eingangsöffnung den Querschnitt vermindert, bis daß die übermäßige Spannung des Gases die bezeichnete Grenze erreicht hat.

Die Einrichtung des Apparats ist folgende: es wird angenommen, daß die Leitungsröhre horizontal und durch einen senkrechten, gußeisernen, oben und unten verschlossenen Cylinder unterbrochen sei, der am obern Ende die beiden Röhren aufnimmt, welche das Gas ein und ausführen. Der Cylinder enthält Wasser bis zu der Höhe des untern Theils der das Gas abführenden Röhre, und einen kleinen Gasometer, unter welchem sich, sowie unter dem Wasserspiegel eine mit der äußern Luft in Verbindung stehenden Röhre öffnet. Das Gasometer wird durch eine kleine Kette gehalten, die über einen Kreissektor läuft, der am Ende eines sehr beweglichen Balanciers befestigt ist; das andere Ende des Balanciers, welches selbst in einen Kreissektor ausläuft, hält eine Kette mit einem Gegengewicht, welches sich stets unter Wasser befindet, und das Gewicht der Glocke ausgleicht. Auf diese wirkt im Innern die Luft und äußerlich das Gas ein; sie sinkt folglich in dem Maß, als der Druck des Gases über dem der Luft das Uebergewicht erhält. Am Ende der Oeffnung, welche das Gas zuführt, ist ein kreisförmiges Ventil angebracht, welches an eine durch die Mitte gehende, horizontale Spindel befestigt ist und durch das Sinken des Gasometers in Bewegung gesetzt wird. Da das Ventil eine Horizontale ist, wenn der Ueberschuß des Gasdrucks einen gewissen Werth hat, nämlich 0,012 bis 0,015 Meter Wasser, so geht die Glocke aufwärts, wenn der Druck die angegebene Grenze überstiegen hat, und verschließt nach und nach die Oeffnung, durch welche das Gas eintritt. Zu gleicher Zeit vermindert sich aber die Spannung des Gases und die Glocke geht noch ferner aufwärts. Das Gleichgewicht kann daher nicht hergestellt werden und die Glocke muß fortwährend in Schwankungen bleiben, die sich auch in den Brennern zeigen müssen. Um aber einen stetigen Zustand herbeizuführen, hat man an dem Balancier eine auf seiner Richtung senkrecht stehende Stange angebracht; diese Stange steht senkrecht, wenn das Gas den normalen Druck hat und neigt sich in dem Maaß, als das Gasometer sinkt. Alsdann kann kein Gleichgewicht statt finden; allein die Spannung in der Röhre, welche das Gas abführt, ist keine normale, sondern sie schwankt mit der Spannung in der Zuführungsröhre nach einem ziemlich verwickelten Gesetz. Dieser Apparat ist jedenfalls zusammengesetzt und hat außerdem den großen Nachtheil, daß er sich im Innern befindet und nicht überwacht werden kann.

398. **Das Ausströmen eines Gases durch einen Kanal unter dem Einfluß eines an einem der Enden bewirkten Ansaugens.** — In dem Vorhergehenden haben wir vorausgesetzt, daß das Gas in Folge eines Drucks in den Kanal eintrete. Wenn das Ausströmen durch eine Verdünnung bewirkt, die an dem einem Ende der Leitung veranlaßt wird, und wenn die Schwankungen des Drucks zu gering sind, daß dadurch die Dichtigkeit des Gases nicht wesentlich verändert wird, so verhält sich das Ganze derart, als wenn die Expansion an dem einen Ende des Kanals durch einen gleichen überschüssigen Druck am andern Ende ersetzt wäre.

399. Es muß noch bemerkt werden, daß wenn ein Gas ein und dieselbe Röhre nach einander in beiden entgegengesetzten Richtungen und unter gleichem Druck durchströmt, die Widerstände sehr verschieden sein können. Die von der Reibung und Richtungsveränderung herrührenden Widerstände verändern sich nicht, allein bei den Querschnittsveränderungen

ist es anders, denn die Belastungsveränderungen sind für eine Abnahme oder Zunahme des Querschnitts sehr verschieden.

400. Wird die Bewegung durch ein Ansaugen veranlaßt, so wird der Seitendruck Veranlassung zu einer Druckverminderung; allein die Unterschiede beim Manometerstande bleiben dieselben als wie bei der Bewegung durch den Druck. Bei einer geradlinigen horizontalen, an ihrem Ende vollständig offnen Röhre nimmt diese Druckverminderung von dem Punkt des Ansaugens bis zu dem freien Ende ab, wo sie gleich 0 ist. In allen Fällen können diese Verhältnisse auf die (in 389) angegebene Weise berechnet werden und man könnte eine für die Anwendung hinreichende Annäherung, wenigstens für die Punkte erlangen, die von Querschnitts- und Richtungsveränderungen entfernt sind.

Neuntes Kapitel.

Ausströmen des Dampfes unter verschiedenem Druck.

401. Die ältesten Versuche über die Ausströmung des Dampfes sind von dem bekannten Pariser Ingenieur Christian im J. 1823 gemacht. Der von ihm angewendete Apparat bestand in einem kleinen gußeisernen cylindrischen, senkrecht in einem Ofen stehenden Kessel. Die Oeffnung war mit einer gußeisernen, mittels Schrauben gehaltenen Platte verschlossen; ein aus einem kupfernen Cylinder bestehender Schwimmer, der an einem sehr feinen Kupferdraht hing, welcher mittels einer Stopfbüchse durch den Deckel geführt worden war, diente zur Angabe des Wasserstandes in dem Kessel. Um Schwankungen des Schwimmers zu vermeiden, war er mit einem festen Cylinder von Metallgaze umgeben; der Wasserstand wurde durch eine Druckpumpe auf dem bestimmten Punkt erhalten. Es enthielt dieser kleine Kessel gewöhnlich 10 Liter Wasser. Die Ausströmung des Dampfes erfolgte durch eine kreisförmige Oeffnung von 9 Quadrat-Millimeter Oberfläche, die sich in einer Platte befand, deren Dicke nicht angegeben worden ist. Christian hat die Resultate seiner Versuche ohne irgend eine Berechnung angegeben. Die Umstände, unter denen die Versuche statt fanden und die Werthe des Contrakts-Coëffizienten, unter der Annahme, daß sich der Dampf genau wie eine Flüssigkeit von gleicher Flüssigkeit verhält, waren bei einer Barometerhöhe von 0,762 Meter, folgende. Bei Temperaturen von:

105° 110° 115° 120° 125° 130°

welcher dem Quecksilberdruck entspricht von

0,898 M. 1,061 M. 1,245 M. 1,454 M. 1,686 M. 1,966 M.

und den Drucküberschüssen in Quecksilber

0,136 M. 0,299 M. 0,483 M. 0,692 M. 0,924 M. 1,204 M.

1 Kilogr. Dampf ist ausgeströmt in

780″ 515″ 355″ 320″ 270″ 195″

Zu diesen verschiedenen Temperaturen ist die Dichtigkeit des Dampfes gleich

0,0006876 0,00080119 0,00092611 0,001070 0,0012237 0,001409

Die Volumina eines Kilogr. Dampf sind in Kubikmetern:

1,454 1,248 1,080 0,934 0,819 0,709

Die in der Sekunde ausgeströmten Volumina sind alsdann in K.-M.

0,00186 0,002427 0,003042 0,002919 0,00303 0,00363

und folglich sind die wirklichen Ausflußgeschwindigkeiten in Metern

206,66 M. 269,66 M. 338,00 M. 324,30 M. 336,66 M. 403,33 M.

Die Ueberschüsse des Drucks, nach Dampf bestimmt sind alsdann

2135 M. 5071 M. 7088 M. 8789 M. 10272 M. 10612 M.

Die aus der Formel $v = \sqrt{2\,g\,h}$ abgeleiteten theoretischen Geschwindigkeiten sind:

204,6 M. 315,5 M. 372,9 M. 415,4 M. 448,9 M, 477,3 M.

Welches für die Correktions-Coëffizienten giebt

1,0 0,85 0,90 0,79 0,75 0,84

402. Diese Resultate sind sehr unregelmäßig, wovon die Ursache sehr wahrscheinlich in der Menge mechanisch mit weggerissenen Wassers liegt; denn diese Menge, welche bei den verschiedenen Versuchen sehr verschieden sein konnte, ist gänzlich als Dampf angegeben und führt zu einem zu großen Werth für das entwickelte Volum und folglich zu einem zu großen Werth für die Geschwindigkeit und für den Contrakts-Coëffizienten. Wenn übrigens die Correktions-Coëffizienten abnehmende Werthe gehabt hätten, wie bei den permanenten Gasen, so hätte man nichts positives über ihre absoluten Werthe folgern können, vorausgesetzt, daß die Dicke der Platte, in welcher sich die Oeffnung befand, nicht angegeben worden ist. Ohnerachtet der Unregelmäßigkeit dieser Versuche kann man doch nicht zweifeln, daß die Dämpfe bei ihrem Ausströmen den Gesetzen der inkompressibeln Flüssigkeiten gefolgt seien.

403. Die Versuche, die von einer Commission von Berg-Ingenieuren zur Aufstellung der empirischen Formel angestellt wurden, um den Durchmesser der Sicherheits-Ventile zu bestimmen, bestätigen sehr bestimmt, daß sich die Dämpfe bei ihrem Ausströmen durch Oeffnungen genau wie inkompressible Flüssigkeiten verhalten. Die aus diesen Versuchen hervorgehende Formel ist:

$$D = 1{,}3 \sqrt{\frac{S}{n - 0{,}412}}; \text{ oder } S' = 1{,}32 \frac{S}{n - 0{,}412} \quad \ldots\ldots (1)$$

Dabei ist D der Durchmesser der Oeffnung in Centimetern, S' ihre Oberfläche in Quadrat-Centimetern, S die Heizoberfläche des Kessels in Quadratmetern und n die Zahl der Dampfatmosphären. Die Versuche wurden mit einem Kessel von gleicher Oberfläche angestellt, der in einem Ofen von großer Ausdehnung umgeben war, so daß er die höchste Verdampfung gab; man maß den Druck der verschiedenen Querschnitten der Ausströmungsöffnung entsprechenden Dämpfe.

404. Berechnen wir den Werth von S' unter der Annahme, daß der Dampf als eine Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit ausströmt und daß man das höchste Gewicht des Dampfes, welches man auf 1 Quadratmeter

Oberfläche des Kessels in der Stunde zu erzeugen vermochte, 100 Kilogr. betrage, wenigstens wenn die den Ofen speisende Luft durch eine Esse angesaugt wird. Es ist dies die aus den Versuchen von Christian hervorgehende Zahl. Bezeichnet man nun mit d die Dichtigkeit des Dampfes, so wird das in der Sekunde erzeugte Dampfvolum sein,

$$\frac{100\ S}{3600 \cdot d} = \frac{0{,}028\ S\ \text{Kub. Dec.}}{d}, \text{ oder aber } \frac{0{,}000028\ \text{Kubikmeter}}{d}$$

allein die Ausströmungsgeschwindigkeiten des Dampfes, wenn man sie gleich mit der einen gleich dichten Flüssigkeit annimmt, ist

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2g \cdot 10{,}33\,(n-1)}{d}} = 14{,}33 \cdot \varphi \sqrt{\frac{n-1}{d}};$$

zu stark für die Geschwindigkeit und für den Contraktions-Coëffizienten. Uebrigens wird man auch haben

$$\frac{0{,}000028 \cdot S}{d} = \varphi S' \cdot 14{,}33 \sqrt{\frac{n-1}{d}};\ \text{daher } S' = 0{,}0000020 \frac{S}{d} \sqrt{\frac{d}{n-1}}$$

$$= 0{,}0000020\, S \sqrt{\frac{1}{d\,(n-1)}};\ \text{oder } \varphi S' = 0{,}02 \cdot S \sqrt{\frac{1}{d\,(n-1)}}$$

S′ ist in Quadratcentimetern bestimmt; und da

$$d = \frac{0{,}0013 \cdot 5 \cdot n}{8\,(1+at)} = \frac{0{,}00081\, n}{1+at},$$

so wird

$$\varphi S' = 0{,}020\, S \sqrt{\frac{1+at}{0{,}00081\, n\,(n-1)}} = 0{,}7 \cdot S \sqrt{\frac{1+at}{n\,(n-1)}};$$

$$S' = S \sqrt{\frac{1+at}{n\,(n-1)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

wobei $\varphi = 0{,}7$.

405. Die Formeln (1) und (2) gleichen sich nicht; wenn man aber in beiden S = 1 macht und wenn man nach und nach für n die Zahlen 2, 4, 6, 8, 10 und für t die Zahlen 121°, 154°, 160°, 172°, 181°, die den Werthen von p entsprechen, so giebt die Formel (1) für S′

0,831 0,367 0,236 0,174 0,137

und die Formel (2)

0,846 0,360 0,230 0,170 0,136;

Diese Zahlen stehen aber sicher einander so nahe, als es nur erwartet werden kann.

Allein diese Identität der durch die beiden Formeln, innerhalb der Grenzen des Drucks bei den Versuchen erlangten Resultate, setzt nothwendig voraus, daß der Werth von φ konstant und gleich 0,70 ist. Nun nimmt aber nach den Versuchen von Wantzel und St. Venant der Werth von φ mit dem Druck der Luft ab; selbst auch unter der Annahme, daß das Ausströmen durch einen cylindrischen Ansatz erfolge, ist dieser Werth von φ innerhalb der Grenzen des Drucks bei den Versuchen stets kleiner als

0,70, denn (302) er nimmt fortwährend von $\varphi = 0,67$, für $n = 2$ bis $\varphi = 0,51$ für $n = 10$ ab. Man kann die Resultate aus den Versuchen von Wantzel und St. Venant nur mit den von uns verlangten unter der Annahme vergleichen, daß bei den Versuchen der Commission der Bergingeneure, wie bei allen Fällen der Verdampfung ohne Ausnahme Wasser mechanisch und in mit der Temperatur zunehmenden Menge mit sich fortgerissen ist, um die Abnahme des Contraktions-Coëffizienten auszugleichen.

406. Betrachtet man die Versuche von Girard über die Luft und das Leuchtgas, die von d'Aubuisson, die von Poncelet, die von Wantzel und St. Venant, die neuerlich von dem Verfasser angestellten, und endlich die Versuche über das Ausströmen des Gases, so scheint es dem Verfasser als vollkommen bewiesen, daß die Gase und die Dämpfe durch Oeffnungen in einer dünnen Wand wie inkompressible Flüssigkeiten von gleicher Dichtigkeit ausströmen. Für die permanenten Gase hat man aber einen Correktions-Coëffizienten, der von 0,65 bis 0,42 schwankt, wenn sich die Ueberschüsse der Belastung von 0,01 Atmosphären bis ins Unendliche verändern. Für Dämpfe hat man einen konstanten Correktions-Coëffizienten, der für Oeffnungen in dünner Wand wahrscheinlich 0,54 und für cylindrische Ansätze 0,70 beträgt.

407. **Ausströmen des Dampfes durch Leitungsröhren.** — Da der Dampf durch die Oeffnungen wie die verdichteten Gase ausströmt, d. h. wie Flüssigkeiten von gleicher Dichtigkeit, so erleidet es keinen Zweifel, daß er sich in den Leitungsröhren wie die Gase verhält; die Erscheinungen sind aber weit verwickelter. Ueber die Expansion des Dampfes ist man noch nicht ganz im Reinen; man nimmt im Allgemeinen an, daß der Dampf gesättigt bleibt und in diesem Fall würde die Temperaturveränderung nur gering sein; aber der Dampf verdichtet sich stets zum Theil durch die Erkaltung der Umgebung. Endlich reißt er auch fast stets Wasser in sehr kleinen Kügelchen mit sich, ein Umstand, der große Verschiedenheiten in den Resultaten des Kalküls und bei denen der Versuche veranlassen kann.

408. Im Allgemeinen ist die durch den Wärmeverlust der Röhre condendirte Dampfmenge sehr gering in Beziehung auf die ausströmende Dampfmenge. Wir wollen z. B. eine 50 Meter lange und 10 Meter weite Röhre annehmen, die von Dampf unter einem Drucküberschuß von 0,20 Meter Quecksilber durchströmt wird. Die Dichtigkeit des Dampfes wird fast 0,0007376 sein; die von dem Druck herrührende Geschwindigkeit ist 267,58 Meter; die wirkliche Geschwindigkeit unter Annahme, daß die Röhre geradlinig, fast 73 Meter. Da der Querschnitt der Röhre 0,0785 Quadratmeter, so wird das in der Sekunde ausgeströmte Volum sein 0,00785 Quadratmeter 37 = 0,573 Kubikmeter; in der Stunde wird es $0,573 \cdot 3600 = 2062,8$ Kubikmeter betragen, deren Gewicht in Kilogr. ist $2062,8 \cdot 0,000\,7376 \cdot 1000 = 1521,5$. Die Oberfläche der Röhre beträgt nun $0,1 \cdot 3,145 \cdot 50 = 15,70$ Quadratmeter; und da die Menge des auf das Quadratmeter und in der Stunde durch die Abkühlung der gußeisernen Röhre verdichteten Dampfmenge fast 1,8 Kilogr. beträgt, so wird die gesammte Menge des durch die Röhre verdichteten Dampfes sein: $1,8 \cdot 15,7 = 28,26$ Kilogr., oder 0,0185 von dem ausströmenden Dampf. Man sieht daher, daß die Röhre eine sehr große Länge hat, daß sie vollständig der Luft ausgesetzt und daß der Ueberschuß des Drucks von dem Dampf sehr gering wäre, damit die Menge des verdichteten Dampfes ein wesentlicher

Theil von der durch die Röhre strömenden sein würde. In Beziehung auf das mit weggerissene Wasser ist es klar, daß es die Ausströmungsgeschwindigkeit stets vermindern muß, denn die Geschwindigkeit der Flüssigkeiten steht im umgekehrten Verhältniß zu den Quadratwurzeln der Dichtigkeiten.

409. Die Versuche zur Berichtigung der auf das Ausströmen des Dampfes sich beziehenden Formel können nur dadurch angestellt werden, daß man das Gewicht des verdampften oder während einer gewissen Zeit weggeführten Wassers bestimmt, das diesem Wassergewicht entsprechende Dampfvolum berechnet, daraus die Ausströmungsgeschwindigkeit ableitet, und dieselbe mit derjenigen vergleicht, welche aus der Formel hervorgeht. Wenn kein Wasser mit weggerissen wird und wenn die die Röhre durchströmenden Dämpfe sich wie Flüssigkeiten von gleicher Dichtigkeit verhalten, so müßten die beiden Geschwindigkeiten gleich sein; wird aber Wasser mit weggeführt, so muß das berechnete Dampfvolum zu groß sein und die aus diesem Volum abgeleitete Ausströmungsgeschwindigkeit ebenfalls und müßte die aus der Formel abgeleitete übersteigen.

410. Rudler, Ingenieur bei der Tabaksmanufaktur zu Paris, hat dem Verfasser die Resultate eines ganz neuerlich im großen Maßstabe ausgeführten Versuches mitgetheilt. Eine 5 Meter lange Röhre von Kupferblech von 0,08 Meter Durchmesser, die zwei mal rechtwinklig gebogen war und einen Kreisbogen von 0,40 Meter machte, war auf einen Kessel befestigt. Durch dieselbe strömten 4500 Kilogramm Dampf in $2\frac{1}{2}$ Stunden unter einem Druck von 0,15 Meter Quecksilber. Das Gewicht des in der Sekunde ausgeströmten Dampfes betrug $\frac{4500}{150 \cdot 60} = 0{,}5$ Kilogr. Da die Dichtigkeit des Dampfes 0,000728 war, so betrug das in der Sekunde ausgeströmte Volum 0,6871 Kubikmeter; da der Querschnitt der Oeffnung 0,005026 betrug, so war die Ausströmungsgeschwindigkeit 136,71 Kubikmeter.

Die Ausströmungsgeschwindigkeit in der Formel Nr. 381 ist:

$$v = V \sqrt{\frac{1}{1 + A + \frac{KL}{D} + \frac{2\,i^0}{180^0}}}$$

in welcher V die durch die Belastung bedingte Geschwindigkeit; K den Reibungs-Coëffizient 0,024 ist; L und D die Länge und der Durchmesser der Röhre; A den Coëffizienten des Belastungsverlusts an der Oeffnung und $\frac{i^0}{180^0}$ den Coëffizienten des Belastungsverlustes für jede Krümmung bezeichnen. In dem vorliegenden Fall ist $V = 238{,}53$ Meter; $KL : D = 1{,}5$; $A = 0{,}45$, und $i^0 = 90$; welches giebt:

$$v = \frac{1}{1{,}99}\,V = 119{,}87 \text{ Meter.}$$

Um den Unterschied zwischen den Resultaten des Kalküls und den der Erfahrung zu erklären, würde es anzunehmen hinreichend sein, daß der Dampf eine Wassermenge mit sich gerissen hat, die gleich 0,063 seines Gewichts ist.

Zehntes Kapitel.

Anemometer und Manometer.

411. Anemometer. — Unter sehr vielen Umständen ist es nothwendig die Geschwindigkeit eines ausströmenden Gases zu messen. Man hat es wiederholt versucht, zu diesem Zweck einen ähnlichen Apparat wie die Woltmann'schen Flügel, die man zum Messen der Geschwindigkeit der Wasserläufe benutzt anzuwenden; allein man kannte das Verhältniß zwischen der Drehungsgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit der Luft nicht. Im Jahre 1820 wendete der Schwede Kallstenius eine Mühle mit 12 Flügeln zur Messung der Geschwindigkeit der Luft an, die aus der Esse eines Flammenofens ausströmte, und er benutzte dabei eine Formel, die aber nicht durch die Erfahrung berichtigt war und daher ungenau ist. Im Jahre 1838 beschäftigte sich Combes von Neuem mit dieser Frage und er konstruirte einen Apparat, der jetzt sehr allgemein angewendet wird. Bei demselben ist das Verhältniß zwischen der Geschwindigkeit der Luft v und der Anzahl N der Umläufe des Rades durch die Formel gegeben

$$v = a + b\,N$$

wobei a und b Constanten sind. Diese Formel, welche aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet ist, ist durch die Erfahrung bestätigt.

412. Dieses in Fig 43 abgebildete Instrument besteht aus einer sehr zarten Spindel, A B, die in zwei sehr feine Stifte ausläuft, die sich in zwei Agatpfannen drehen, welche in den beiden Säulen S S′ angebracht sind; auf dieser Spindel sind vier ebene Flügel V, die eine gleiche Neigung zu einer senkrecht auf der Achse stehenden Ebene haben, angebracht. Die Spindel hat eine Schraube ohne Ende C, die in ein Schraubenrad mit 100 Zähnen D greift, welches bei jeder Umdrehung der Spindel AB um einen Zahn vorrückt. Die Spindel, auf welcher dieses Rad befestigt ist, hat einen kleinen Daumen, der auf ein Sperr-Rad E von 50 Zähnen einwirken kann. Dieses Sperr-Rad wird durch eine sehr biegsame Stahlfeder G, die an der horizontalen Grundplatte P P des Instrumentes angebracht ist, gehalten. Bei jeder vollständigen Umdrehung des Rades D veranlaßt der Daumen den Zurücktritt von einem Zahn des Sperrrades. Die beiden Räder sind von 10 zu 10 Zähnen, das erstere von 1 — 10, das zweite von 1 — 5 numerirt. Zeiger, die an den Säulen S und F angebracht sind, geben die Anzahl der Zähne, um welche jedes Rad vorgerückt ist, und folglich auch die Anzahl der Umdrehungen der Achse an. Mittels eines Drückers und zweier Schnuren L, welche ihn bewegen, kann man aus der Entfernung die drehende Bewegung der Flügel aufhalten, oder ihnen gestatten, daß sie sich durch die Luft, die auf sie stößt, drehen.

M ist eine senkrechte, auf der Platte befestigte Stange, welche zum Tragen des Anemometers und zu seiner Erhaltung in der Büchse dient.

412 bis. Um sich dieses Instruments zu bedienen, führt man zuvörderst beide Räder und ihre Zeiger auf die Nullpunkte zurück, stellt alsdann das Instrument auf ein Support in den Querschnitt des Kanals, in welchem

die Luft zirkulirt, und zwar so, daß die Flügelspindel in der Richtung des Stromes liegt, der Aufhalter oder Drücker aber so angebracht ist, daß er sich der Bewegung widersetzt. Man entfernt sich nun von dem Instrument, und löst den Aufhalter an einem gewissen Zeitpunkt, worauf sich der Apparat zwei bis drei Minuten lang umdreht; man zieht alsdann die Schnur an, hält die Bewegung auf und merkt sich die Zahl der Umläufe, die während der Dauer des Versuchs gemacht worden sind. Man braucht nun nur noch aus der dem Instrument entsprechenden Formel die Ausströmungsgeschwindigkeit der Luft abzuleiten.

413. Für jeden Apparat bestimmt man die Constanten a und b der Formel, indem man ihn auf dem Ende einer horizontalen Stange befestigt, die eine gleichförmige Rotation um eine senkrechte Achse mittels eines uhrenartigen Mechanismus erhält, dessen Geschwindigkeit man durch die Stellung der Windflügel reguliren kann. Combes hat auf diese Weise die Constanten a und b eines solchen Apparates durch eine große Reihe von Versuchen bestimmt und dadurch die Formel berichtigt. Die hier beschriebene Vorrichtung, welche zuerst ausgeführt wurde, hatte einen Nachtheil; man berechnete die Zeit von einem Augenblick ab, in welcher das Rad in Ruhe war, und da es die Geschwindigkeit, die es bis zu Ende des Versuchs beibehält, nicht augenblicklich erlangen kann, so mußte daraus ein gewisser Irrthum entstehen; es ist jedoch diese Zeit sehr kurz, indem die Flügel sehr bald die eigentliche Geschwindigkeit erlangen. Da auch übrigens die Constanten in der Formel des Apparats unter denselben Verhältnissen bestimmt worden waren, so betraf der Irrthum, wenn er in der Wirklichkeit existirte, nicht den Gebrauch des Apparats, wenigstens, wenn kein wesentlicher Unterschied zwischen der Dauer der Versuche und derjenigen entstanden ist, die zur Dauer der Versuche gedient haben. Seitdem hat man aber den Apparat so eingerichtet, daß die Ursache der fraglichen Irrung nicht mehr vorhanden ist, indem die Zeiger sich erst dann zu drehen anfangen, wenn das Flügelrad seine ganze Geschwindigkeit erlangt hat.

414. Das Anemometer von Combes ist ein Instrument von sehr allgemeiner Benutzung bei den Ventilationsapparaten; es ist unerläßlich für alle Ingenieure, die sich mit der Heizung beschäftigen; denn so, wie wir im dritten Bande sehen werden, giebt es fast keine Feuerung, die nicht von einer gewissen Ventilation oder Luftung begleitet wäre, und dieselbe zu messen ist stets nützlich, oft aber auch nothwendig.

415. General Morin hat ein neues Anemometer konstruirt, welches große Aehnlichkeit mit dem Combes'schen hat; nur sind die Räder mit versenkten Zeigern (aiguilles à godets) versehen. Morin hat dieselbe Art der Graduirung wie Combes angewendet und ist auch zu derselben Formel gelangt. Da die Versuche mit der Graduirung auf viel größere Schwierigkeiten gestellt worden sind, als die von Combes gemachten, so bestätigen sie die Genauigkeit der Combes'schen Formeln bei großen Geschwindigkeiten.

416. Das Morin'sche Anemometer ist in der Benutzung bequemer als das Combes'sche. Mittels der Zeiger sind die Zifferblätter mit Zeichen des Anfanges und des Endes der Versuche versehen; die Bestimmung der Anzahl der Umgänge macht sich leichter und der Versuch kann länger dauern. Dagegen kann das Morin'sche Instrument nur bei Geschwindigkeiten über 0,50 Meter angewendet werden, während das Combes'sche, bei

welchem weit weniger Geschwindigkeit anzuwenden ist, geringere Geschwindigkeiten gemessen werden können.

Eine lange Dauer bei den Versuchen ist ein wesentlicher Vortheil, so bald der Strom große Störung erleidet, allein im Allgemeinen haben die partiellen Strömungen fast konstante Geschwindigkeiten, die von einem Punkt zum andern in demselben Querschnitt sehr veränderlich sind, und es ist alsdann vortheilhafter, die Versuche an verschiedenen Punkten des Querschnitts zu vervielfachen, als sie an ein und demselben Punkte zu verlängern.

417. Es muß noch bemerkt werden, daß wenn das Anemometer in Kanälen von großem Querschnitt angebracht wird, dasselbe, da die elementaren Ströme im Allgemeinen sehr ungleiche Geschwindigkeiten haben, nach und nach an verschiedenen Punkten befestigt werden muß, um eine mittlere Geschwindigkeit zu erlangen. Wenn die Röhre, wie es gewöhnlich der Fall, kreisrund oder quadratisch und lang genug ist, daß die Geschwindigkeiten der elementaren Ströme dieselben in gleicher Entfernung von dem Mittelpunkt seien, und wenn man die Geschwindigkeit an verschiedenen Punkten beobachtet hat, so ist es ganz klar, daß man zur Erhaltung der mittlern Geschwindigkeit eine jede von diesen Geschwindigkeiten mit der Peripherie des entsprechenden Kreises multipliciren und die Summe dieser Produkte mit der Summe der Peripherien dividiren müßte. Bei diesem Kalcül könnten die Peripherien durch die Halbmesser ersetzt werden, allein wir haben schon bemerkt, daß die Geschwindigkeit der Ströme auf $^1/_3$ des Halbmessers von der Oberfläche ab einen der mittlern Geschwindigkeit hinlänglich genäherten Werth giebt. Wenn die von Luft durchströmte Röhre eine von dem Kreise, den die Flügel des Instrumentes beschreiben, wenig verschiedene Durchmesser hat, so ist es ganz klar, daß das Anemometer nur die Geschwindigkeit nach seiner Graduirung angiebt, d. h. daß die Constanten dadurch bestimmt worden seien, daß man das Instrument unter denselben Umständen aufstellt.

418. Der Apparat von van Hecke. — Dieser Apparat registrirt die Ventilation und giebt ein Maß von dem Luftvolum an, welches während irgend einer Zeit, seien es um einige Minuten, oder einige Stunden, Tage oder selbst ein ganzes Jahr. Dieser Apparat, der seit einigen Monaten in dem Hospital Beaujon zu Paris benutzt wird, ist nichts anderes, als ein großes Anemometer, mit zwei Flügeln, die in der Achse der Röhre angebracht sind. Die beiden, fast unter 45 Grad geneigten Flügel reichen von der Mitte bis zur Peripherie. Ihre Bewegung wird mittels einer Kette ohne Ende auf eine Reihe von Zahnrädern übertragen, von denen jedes einen Zeiger hat, der ein in hundert gleiche Theile getheiltes Zifferblatt durchläuft. Das erste Zifferblatt giebt die Anzahl der Umgänge an, das zweite die Hunderte derselben, das dritte die Zehntausende und das Vierte die Millionen von Umgängen. Indem man nun zu irgend zwei Zeiträumen die Stellungen der Zeiger auf den vier Zifferblättern beobachtet, so kann man daraus die in dem Zeitraum gemachten Umgänge ablesen, und wenn man durch anemometrische Messungen, die jeder Umdrehung der Flügel entsprechende Ausströmungsgeschwindigkeit bestimmt hat, so kann man daraus leicht das in dem fraglichen Zeitraum ausgeströmte Luftvolum ableiten. Dieses Instrument hat, wie alle übrigen, bei denen die Luft zur Bewegung eines Körpers wirkt, das Nachtheilige, die Geschwindigkeit durch die Verengungen des Querschnitts zu vermindern; allein die Verminderung

der Geschwindigkeit ist gering, wenn die Flügel keine große Breite haben. Die geringste Verbiegung der Flügel, die geringste Veränderung an einem seiner Theile verändert auch die Resultate und es ist daher auch unerläßlich, den Apparat häufig zu untersuchen und zu reguliren. Man kann ihn auch nicht anders benutzen, als wenn man durch anemometrische Messungen und für verschiedene Geschwindigkeiten die mittlere Geschwindigkeit der Luft in dem Kanal bestimmt hat. Es erleidet keinen Zweifel, daß die sich auf dieses große Anemometer beziehende Formel nicht dieselbe Gestalt haben kann, wie die sich auf das Combes'sche Anemometer beziehende $v = a + bn$. Es muß hinzugefügt werden, daß dieses Instrument eine von der mittlern Geschwindigkeit wenig verschiedene angeben muß, indem seine Geschwindigkeit aus der Impulsion aller elementaren Störungen hervorgeht.

419. Apparate, welche eine bleibende Messung der Geschwindigkeit geben. — Wenn ventilirende Apparate ununterbrochen wirken, so ist es häufig von Wichtigkeit, ein Instrument zu besitzen, welches jeden Augenblick die Ausflußgeschwindigkeit der Luft, oder welches wenigstens angiebt, ob die Ventilirung innerhalb gewisser Grenzen befindlich ist. Instrumente dieser Art sind beim Bergbau, in Gefängnissen, Hospitälern u. s. w. nothwendig, weil der Gesundheitszustand von der Geschwindigkeit des Luftwechsels abhängt.

420. Man könnte in dem Ventilirungskanal ein Combes'sches Anemometer anbringen, welches stets in Bewegung wäre und einen Zeiger hinter einer Glasscheibe betriebe. Die Anzahl der Umgänge, welche der Zeiger z. B. in einer Minute macht, würde nach der Formel des Anemometers die Ausströmungsgeschwindigkeit angeben; allein das stets im Betriebe befindliche Instrument könnte sich durch die fremdartigen Stoffe, mit denen es in Verbindung kommt, und die die Luft mit sich führt, verändern und ungenaue Angaben machen.

Man könnte auch in den Kanal nur das Flügelrad und dessen mit Schraubengewinden versehene Spindel anbringen, welche letztere sich nach außen verlängerte und auf einen Zeiger wirken, der durch sein Gewicht oder durch eine Feder festgehalten würde. Der Zeiger würde sich um so mehr aus seiner ursprünglichen Stellung entfernen, als der auf das Flügelrad seiner Umdrehung ausgeübte Druck mehr oder weniger bedeutend sein würde. Eine solche Vorrichtung ist aber noch nicht angewendet.

421. Man könnte aber auch, wenn die Röhre senkrecht ist, den in Fig. 44 angegebenen Apparat anwenden. A ist ein kleiner Cylinder aus Eisenblech oder aus dünnem Kupferblech, der mit einer senkrecht auf seiner Oberfläche stehenden Anzahl kleiner Flügel versehen und am Ende einer Stange BC, die sich um den Punkt D dreht, beweglich ist. P ist ein Gegengewicht, um den Schwerpunkt auf den Punkt D zu bringen; von diesem Punkte geht eine Stange DE ab, die einen rechten Winkel mit BC bildet und die mit einem kleinen Gewicht P' versehen ist, dessen Entfernung von dem Punkte D verändert werden kann. Am Ende von C endlich befindet sich ein Zeiger, der den in Grade getheilten Quadranten F durchläuft. Indem nun der Luftstrom auf das Rad A einwirkt, verändert er die Stellung des Zeigers, bis daß das aus seiner Stellung verdrängte Gewicht P' das Gleichgewicht mit dem Druck der Luft auf das Rad wieder herstellt. Die Flügel des Cylinders A sind gleich und gleich weit von einander entfernt, so daß der Luftstrom auf gleiche Weise darauf einwirkt, sei die Rei=

gung des Hebels BC welche sie wolle. Der ganze Apparat könnte in einem länglich viereckigen hölzernen Kasten, auf der vordern Seite mit einer Glasscheibe versehen sein, und in einer Oeffnung in der Esse angebracht werden. Durch anemometrische Versuche könnte man die, einigen Stellungen des Zeigers entsprechende Ausströmungsgeschwindigkeit bestimmen. Indem man alsdann mit V eine von diesen Geschwindigkeiten, mit a den Winkel, den der Zeiger mit dem Horizont macht, und mit v die einer andern Neigung a' entsprechende Neigung bezeichnet, würde man haben:

$$v = V \sqrt{\frac{\text{tang. } a}{\text{tang. } a'}}.$$

Das Zifferblatt könnte die den verschiedenen Neigungen entsprechenden Geschwindigkeiten angeben. Der Apparat müßte sehr empfindlich sein; denn bei einer Geschwindigkeit von 1 Meter beträgt der Druck nur 0,065 Millimeter der Wassersäule und der Druck auf 1 Quadratdecimeter würde nur 0,065 Gramm betragen.

Die Fig. 45 stellt eine ähnliche Vorrichtung, bei einer horizontalen Röhre angebracht, dar; in diesem Falle ist das Gegengewicht P' nicht erforderlich. Diese Apparate haben einen Nachtheil, der unter gewissen Umständen große Irrungen veranlassen könnte. Das Rad A verändert seine Stellung in dem Essenquerschnitte in dem Maße, als sich der Hebel BC neigt, und wir sahen, daß die durch Röhren gehenden Luftströme abnehmende Geschwindigkeiten von der Peripherie bis zur Mitte haben. Es würde daher durch die Stellungsveränderung des Rades der Werth der angegebenen Geschwindigkeit zu gering sein.

422. Wenn die Ausflußröhre senkrecht ist, so könnte man den angedeuteten Nachtheil dadurch vermeiden, daß man das Rad A durch eine Schale ersetzt, die an einem Drahte aufgehängt ist, welcher sich auf einen Theil des aus sehr dünnem Metall bestehenden Kreisbogens aufrollt. Durch diese Einrichtung würde die Schale stets die Einwirkung derselben Ströme erhalten und der Druck, dem sie ausgesetzt ist, würde dem sinus der Neigung proportional sein. Man könnte selbst die von dem Strom hervorgebrachten Wirkungen dadurch vermehren, daß man mehrere Schalen, a, b, c (Fig. 46) über einander anbrächte.

In diesen verschiedenen Stellungen macht der Zeiger bei sehr geringen Druckveränderungen große Schwingungen; man würde sich aber von der wirklichen Neigung wenig emtfernen, wenn man die Mittelzahl von diesen Abweichungen nimmt, sobald sie nicht zu bedeutend sind. Man könnte übrigens die Größe dieser Schwingungen sehr wesentlich dadurch vermindern, wenn man an der beweglichen Stange eine Metallplatte in einer auf der Ebene, welche der Zeiger beschreibt, senkrechten Ebene befestigte. Der Widerstand, den die Luft dieser Platte entgegensetzen würde, müßte die Schwingungen sehr bald aufhalten. Der Bergingenieur Sagey hat einen ähnlichen Apparat zur Messung der Ventilation im Gefangenhause zu Tours angewendet; das Rad A war durch eine Platte ersetzt, die durch ein längs der Stange BC verschiebbares Gewicht in einer horizontalen Stellung erhalten werden konnte. Der Apparat, der eine solche Einrichtung hatte, daß er eine tangentale oder Sinus-Waage bildete, würde offenbar von einem weit bequemeren Gebrauch sein, hauptsächlich wenn die Geschwindigkeit konstant sein muß und um anzugeben, daß er in der einen oder der andern

Richtung verschieden ist; um aber genaue Geschwindigkeitsmessungen zu erlangen, ist es stets sicherer, sie mittelst manometrischer Apparate zu bestimmen, wie wir es nachweisen wollen.

423. Bei bedeutender Geschwindigkeit, so daß sie einem Drucke von einigen Centimetern Wasser entspricht, könnte ein außerhalb der Leitung angebrachtes Wassermanometer in jedem Augenblicke den der mittlern Geschwindigkeit entsprechenden Druck angeben. Es würde zu dem Ende, wie wir schon in Nr. 388 angegeben haben, hinreichend sein, daß die beiden Manometerschenkel (Fig. 42 Taf. II.) mit einer Röhre in Verbindung gesetzt würden, die senkrecht auf der Oberfläche der Leitungsröhre steht und deren Ende horizontal mit dieser Oberfläche wäre, während das andere mit einer kleinen Röhre in Verbindung stände, die im Innern der Leitung parallel mit deren Achse gekrümmt wäre und zwar auf $\frac{1}{4}$ des Halbmessers, von der Oberfläche ausgehend und zwar so, daß sie den Druck der Strömung aufnehmen kann. Da aber bei der angegebenen Stellung der Druck der mittlern Geschwindigkeit nicht genau entsprechen könnte, so müßte man durch anemometrische Versuche eine kleine Tabelle von dem Volum der ausgeströmten Luft für eine gewisse Zahl der Manometerhöhen aufstellen. Es ist klar, daß, wenn die sich auf die Strömungen beziehenden Bewegungen nicht verändert sind, die Ausströmungsgeschwindigkeiten proportional mit den Quadratwurzeln des Manometerdrucks sein müßten.

424. Dieses Verfahren setzt jedoch nothwendig voraus, daß die den Geschwindigkeiten entsprechenden Belastungen mit einem Wassermanometer gemessen werden können und zu dem Ende sehr bedeutend sein, denn für Geschwindigkeiten von

1 M.	2 M.	3 M.	4 M.	5 M.	6 M.	7 M.	8 M.	9 M.	10 M.

sind die Belastungen in Millimetern Wasser:

0,065	0,26	0,585	1,04	1,625	2,34	3,18	4,16	5,26	6,50.

Da nun aber bei großen Ventilirungsapparaten die Ausströmungsgeschwindigkeiten selten 2 Meter übersteigen und da die entsprechende Belastung von Wasser 0,26 Millimeter beträgt, so wird man einsehen, daß der fragliche Apparat nicht angewendet werden könnte. Dennoch ist er unter sehr vielen Umständen von großer Wichtigkeit, permanente Geschwindigkeits-Indikatoren zu haben.

425. Wenn die Ventilirung durch eine Maschine bewirkt wird, welche die Luft in die zu ventilirenden Orte treibt, so ist der Druck im Anfang der Leitung stets ein bedeutender, weil er aus dem besteht, der die Bewegung veranlaßt, so wie auch aus dem, der den Widerständen aller Art entspricht. Wenn ferner die Ventilirung durch ein Ansaugen mittelst einer Esse oder mittelst einer Maschine bewirkt wird, so ist die Verdünnung der Luft am untern Theile der Esse oder in der Nähe der Maschine weit bedeutender, als die der Geschwindigkeit der Luft entsprechende Belastung, da diese Verdünnung, wie im vorhergehenden Falle, nicht allein die der Geschwindigkeit entsprechende Belastung darstellt, sondern auch die Summe der in der ganzen Leitung verlorenen Belastungen. Da nun bei allen großen Ventilirungsapparaten die Ausflußgeschwindigkeit fast stets zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{4}$ der theoretischen Geschwindigkeit begriffen ist, so folgt daraus, daß die Verdünnung am untern Theile der Esse oder in der Nähe der Maschine 9 bis 16 Mal bedeutender ist, als der entsprechende Druck der Ausflußgeschwindigkeit. Wenn die Geschwindigkeit gleich 2 Meter wäre, so würde

die Luftverdünnung zwischen 0,26 Millimeter $\times$ 9 = 2,34 Millimeter und 0,26 $\times$ 16 = 4,16 Millimeter begriffen sein. Dieser Druck könnte mit einem Wassermanometer gemessen werden, dessen einer Schenkel mit einer Röhre in Verbindung stände, die senkrecht auf der innern Oberfläche des untern Theils der Esse und in gleicher Höhe mit dieser Oberfläche oder in einem Raum ausmündet, der sich vor der Saugöffnung der Maschine befindet. Die Verbindung mit dem Manometer könnte mittelst kleiner Röhren von Metall oder Kautschuk bewirkt und das Manometer in irgend einer Entfernung von der Esse oder von der Maschine angebracht werden. Da aber die Manometerhöhen stets sehr gering sind, so würden viele Irrthümer bei der Bestimmung der den Druck bestimmenden Geschwindigkeiten vorkommen können. Man müßte alsdann den Apparat so vorrichten, daß seine Angaben gleich dem Zehn- oder Zwanzigfachen der Höhen seien, die den wirklichen Belastungen entsprechen, d. h. man müßte multiplikatorische Manometer anwenden, deren Reduktions-Coëffizient bekannt wäre. Der Verfasser hat zu dem Ende verschiedene Vorrichtungen versucht, welche hier beschrieben werden sollen.

In allen diesen Fällen erfordert die Bestimmung des Reduktions-Coëffizienten, d. h. der Zahl, mit welcher man die Angabe der Skala dividiren muß, um den wirklichen Druck zu erhalten, und die Berichtigung der Skala, die Benutzung eines Instruments, mit welchem man den überschüssigen Druck von einigen Millimetern bis zu 1 oder 2 Centimetern genau messen kann; es soll daher hier mit der Beschreibung der verschiedenen Vorrichtungen begonnen werden, die der Verfasser bei diesen Messungen benutzt hat. Es muß bemerkt werden, daß diese letzteren Instrumente von den ersteren darin verschieden sind, daß bei diesen das Maß des Drucks Versuche erfordert, während bei den Multiplikator-Manometern die Angabe des Druckes bleibend ist und auf einer Skala oder auf einem Zifferblatte abgelesen werden kann.

426. Apparate zur Messung kleiner Drucküberschüsse. — Der erste Apparat, dessen sich der Verfasser bedient hat, bestand in einer Glasröhre von 4 Millimeter Durchmesser, die aus zwei senkrechten Schenkeln bestand, welche unten mit einer schwach gekrümmten Röhre verbunden waren. Die Enden der senkrechten Schenkel waren mit Hähnen versehen, und der eine derselben stand mit einem Kasten von Kupferblech in Verbindung, der mit Luft angefüllt, verschlossen und mit Wasser und Holz umgeben war, um die plötzlichen Temperaturveränderungen zu vermeiden. Das innere Volum konnte mittelst einer Schraube verändert werden und deren Drehung wurde durch eine Kurbel bewirkt. Die Schraube war mit einem in 100 Theile getheilten Kreise versehen, der eine in Millimeter getheilte Skala durchlief. Um sich dieses Instrumentes zu bedienen, brachte man eine Luftblase in die horizontale Röhre, indem man die Enden der senkrechten Schenkel in Verbindung mit der Luft brachte, so daß die Blase in die Mitte der Röhre kam. Wenn man alsdann den Raum, dessen Drucküberschuß man messen wollte, mit dem Ende des einen von den senkrechten Schenkeln in Verbindung brachte und den Luftbehälter mit dem andern Schenkel, so ging die Luftblase auf die Seite des geringsten Druckes und man konnte sie in ihre ursprüngliche Stellung zurückführen, indem man das Volum des Luftbehälters mittelst der Schraube vermehrte oder verminderte. Nachdem das Gleichgewicht wieder hergestellt worden war, führte die Zu- oder Abnahme des Volums von dem Luftbehälter leicht zu der

Bestimmung der Druckdifferenz. Dieser Apparat hat einen wesentlichen Mangel, der aus den Temperaturveränderungen hervorgeht, die der Luftbehälter durch seine Zusammendrückung oder Ausdehnung erleidet, und zwar so, daß man lange Zeit warten muß, um eine feste Stellung der Schraube zu erlangen.

Der Verfasser wollte sie vereinfachen, indem er eine auf gleiche Weise eingerichtete Glasröhre benutzte, deren unterer Theil aber sehr lang und in Theile von gleicher Räumlichkeit getheilt war. Da die beiden senkrechten Schenkel mit der Luft in Verbindung standen, so konnte man leicht die in der horizontalen Röhre eingeschlossene Wasserblase zu irgend einem Punkt der Theilung bringen. Indem man nun einen von den Schenkeln mit dem Raum in Verbindung brachte, dessen überschüssiges Volum man messen wollte, und den andern mit dem Luftbehälter, vermehrte oder verminderte die Blase selbst durch ihre Bewegung das Luftvolum des Behälters, und die Bewegung der Blase gestattete, den Ueberschuß des Drucks direkt zu bestimmen, wenn man das Verhältniß von dem Volum einer Theilung und dem des Behälters kannte. Es würde aber diese Vorrichtung denselben Nachtheil gehabt haben als die erstere, und da der Verfasser gefunden hat, daß man die Höhe des Wassers in einen gewöhnlichen Manometer sehr genau messen konnte, so gab er diese complicirten Apparate auf und bediente sich dessen, der nun beschrieben werden soll.

427. Gewöhnliches, sehr genaues Manometer. — Dieser Apparat, der in Fig. 48 in einer perspectivischen Ansicht dargestellt worden ist, besteht in einem Gefäß mit quadratischer Basis A von dünnem Kupferblech von 0,20 Meter Seite und 0,135 Meter Höhe, welches von allen Seiten verschlossen und zur Hälfte voll Wasser ist. In der Nähe des Bodens ist es mit einer Hülse versehen, in welcher die Glasröhre B von 0,02 Meter Durchmesser eingekittet ist. Ueber dieser Röhre befindet sich eine Mutterschraube von Rothguß, durch welche die Schraube D geht, deren Gewinde 0,001 Meter Steigung hat, unten in eine Spitze, oben aber in einen Knopf ausläuft, unter welchem sich eine runde, in 100 gleiche Theile getheilte Scheibe C befindet, deren Peripherie die in Millimeter getheilte Skala E durchläuft. N ist ein Luftblasen-Niveau; F ein Hahn, durch welchen mittels des darüber angebrachten Trichters Wasser in den Kasten A gebracht werden kann; H eine Röhre, die den Zweck hat, die Verbindung des Behälters mit dem Raum, dessen Druck man messen will, herzustellen. R ist ein anderer Hahn, um Wasser aus dem Kasten A abzulassen. Um nun diesen Apparat zu benutzen, verschließt man zuvörderst den Hahn H, öffnet alsdann den Hahn F, der innere Druck wird gleich dem äußern, und man senkt die Schraube, bis daß ihre untere Spitze die Flüssigkeit berührt, welches man sehr leicht durch das Bild auf der Oberfläche der Flüssigkeit erkennen kann. In dem Augenblick, daß die Berührung stattfindet, verändert sich die Oberfläche der Flüssigkeit plötzlich, und man kann mit der größten Genauigkeit den Augenblick der Berührung festhalten. Man beobachtet alsdann die Höhe der Scheibe C auf der Skala in Millimetern und in 100 Theilen von Millimetern; alsdann schraubt man die Schraube in die Höhe, verschließt den Hahn F, öffnet den Hahn H, und je nachdem in dem Gefäß ein größerer oder geringerer Druck als der atmosphärische entsteht, steigt oder senkt sich die Flüssigkeit in der Röhre

B. Man führt die Spitze der Schraube zum Niveau des Wassers zurück und man bemerkt wie vorher die Höhe der Scheibe C; der beobachtete Höhenunterschied giebt den Ueberschuß des Druckes an. Es muß jedoch das Beobachtungsresultat sofort zwei Correktionen erleiden. Die erste bezieht sich auf die Senkung des Niveaus in dem Behälter A. Bezeichnen wir nun durch S den Querschnitt des Gefäßes, durch s den der Röhre B, durch h und h′ die Niveauveränderung der Flüssigkeit in den Gefäßen, die für einen Drucküberschuß H in Verbindung stehen; so wird man haben: $H = h + h'$, und $h \cdot S = h' \cdot s$; und folglich $H = h' (S + s) : S$. In dem vorliegenden Fall ist $S = 0{,}04$, $s = 0{,}000314$; $(S + s) : S = 1{,}0078$; und $H = 1{,}0078\, h'$. Die zweite Correktion bezieht sich auf das Schraubengewinde, welches niemals 1 Millimeter gleich ist; diese Correktion wird leicht dadurch erlangt, daß man die Schraube von einem Ende zum andern der Skala gehen läßt und indem man die Anzahl der Umgänge der Schraube mit den Theilungen der Skala, die durchlaufen sind, vergleicht.

428. Manometer mit geneigter Röhre. — Dieser in Fig. 49 dargestellte Apparat ist ähnlich demjenigen, dessen sich der Verfasser bei seinen Versuchen über die Bewegung der Luft in den Röhren (241) bedient hat; für den fraglichen Gebrauch sind jedoch einige Veränderungen daran gemacht worden. A ist ein Kasten von dünnem Messingblech von 0,60 Meter Länge, 0,10 Meter Höhe und 0,05 Meter Breite; er ruht auf drei Füßen mit Schrauben V, die ihn mittels des fixen Niveaus N genau horizontal zu stellen gestatten. Eine Glasröhre BCD ist eine in eine Hülse von Kupferblech mit rechtwinkliger Biegung befestigt und dieser Theil der Hülse tritt in den Kasten durch einen Korkstöpfsel, der in einer innern Hülse angebracht ist. Die Röhre ist auf einer Regel von Kupferblech EF befestigt, die in Centimeter und Millimeter getheilt ist, und welcher man verschiedene Neigungen geben und dieselben durch die Druckschrauben g festhalten kann. H ist eine Hülse mit Hahn, die den Zweck hat, durch eine Kautschukröhre die Verbindung mit dem Raum herzustellen, dessen Druck man messen will; I ist eine andere Hülse mit Hahn und mit einem Trichter, durch welchen man das Innere des Kastens mit der äußern Luft verbinden, oder durch die man Wasser einbringen kann; M ist ein gewöhnliches Manometer; R ein Hahn, der zur Entleerung des Kastens dient; D eine Hülse mit Hahn, welcher das Ende der Glasröhre bildet.

Um sich dieses Instrumentes zu bedienen, beginnt man mit Herstellung des Niveau's auf den Nullpunkt, indem man die Regel mit der Druckschraube feststellt. Will man nun einen Ueberschuß des Drucks messen, so bringt man das Niveau des Wassers in der Röhre unter die Skala mittels der beiden Hähne I und R und drückt die Luft in dem Behälter dadurch zusammen, daß man durch die Röhre D bläst, bis das Manometer M einen Ueberschuß des Drucks von 1 oder 2 Centimeter angiebt; darauf regulirt man die Neigung der Röhre RCD derart, daß der Lauf der Flüssigkeit gleich der des Manometers M multiplizirt mit 10, 15 oder 20 ist, je nachdem man Angaben erhalten will, die 10, 15 oder 20 mal größer als die wirklichen Ueberschüsse des Drucks sind. Für Glasröhren von 4—5 Millimeter innerm Durchmesser muß man diese Zahlen nicht übersteigen, weil, wenn die Röhre zu wenig gegen den Horizont geneigt ist, und

wenn man den Druck in dem Behälter herstellt, das Niveau der Flüssigkeit nicht auf den Ausgangspunkt zurückkommt, und daß bei kleinen Druckveränderungen die flüssige Säule die Länge nicht verändert. Wenn die Neigung einmal fest bestimmt ist, so stellt man sie mittels der Druckschraube G fest.

Um eine Druckverminderung zu messen, muß sich das Niveau der Flüssigkeit in der Röhre nothwendig in der Höhe der Skala befinden, wenn der Kasten mit der Atmosphäre in Verbindung steht. Wenn es sich darum handelt, die durch eine Esse bewirkte Ansaugung zu messen, so verbindet man die Hülse H mit dem untern Theile der Esse in Verbindung bringen. Nehmen wir an, daß die Wassersäule eine Länge h auf der geneigten Skala durchlaufe; kennt man die Länge h′, die einer Geschwindigkeit v entspricht, welche mittels des Anemometers gemessen ist, so würde man ganz offenbar für die Geschwindigkeit x, die der Länge h entspricht, $v^2 h = x^2 h'$ haben, und folglich

$$x = v \sqrt{\frac{h}{h,}}.$$

Man könnte alsdann eine Tabelle bilden, welche die Geschwindigkeiten x, welche den beobachteten Werthen von h entsprechen, angeben. Um den Grad der Genauigkeit, den man durch diese Methode erlangen kann, kennen zu lernen, wollen wir annehmen, daß h′ = 23,4 Millimeter bei einer Ausflußgeschwindigkeit von 2 Meter sei; für h = 22,4 Millimeter bei einer Ausflußgeschwindigkeit von 1,97 Meter. Es würde demnach ein Irrthum von 1 Millimeter bei Bestimmung des Drucks keinen wesentlichen Irrthum bei Berechnung der Geschwindigkeit veranlassen.

429. Manometer mit Schwimmer. — Dieser Apparat ist in Fig. 50 dargestellt. Der Kasten A besteht aus dünnem Kupferblech, ist 0,58 Meter lang, 0,07 Meter hoch, und 0,13 Meter breit; mit Schrauben versehene Füße V und eine Libelle M dienen dazu, den Kasten horizontal zu stellen. Oben ist dieser Kasten geschlossen und mit einem innern Halse B von 0,12 Meter Durchmesser versehen, in welchem die im Innern des Kastens befindliche Flüssigkeit ein gleiches Niveau zu erlangen sucht. In diesem Halse befindet sich ein Schwimmer C von dünnem Kupferblech, der so belastet ist, daß die Schwimmlinie sich fast in der Mitte seiner Höhe befindet. Er wird durch eine feine Schnur gehalten, welche über eine Rolle D läuft, die auf einer sehr beweglichen Spindel befestigt ist; das andere Ende der Schnur ist in der Kehle der Rolle befestigt und diese hat eine zweite Kehle mit einer zweiten Schnur, die in ein Gegengewicht h so ausläuft. Die Rollenspindel ist mit einem langen Zeiger EP von sehr dünnem Holz versehen, der durch ein Gegengewicht E ins Gleichgewicht gestellt ist, und dessen Ende P den in Centimeter und Millimeter getheilten Quadranten GK durchläuft. Eine mit einem Hahn H versehene Hülse hat den Zweck, die Verbindung zwischen dem Luftbehälter des Kastens und den Raum, dessen Drucküberschuß über den atmosphärischen man messen will, in Verbindung zu setzen. Eine andere Hülse I hat den Zweck, im Innern des Kastens den äußern Druck herzustellen, oder Wasser einzugießen; der Hahn R dient zum Ablassen des Wassers aus dem Kasten. Um den Apparat zu benutzen, beginnt man damit, ihn mittels der Schraubenfüße und der Libelle

horizontal zu stellen; darauf öffnet man den Hahn I, und bringt Wasser in den Kasten, und zwar so, daß das Ende der Nadel auf dem Nullpunkt des Quadranten steht. Darauf verschließt man den Hahn I, und stellt durch den Hahn H die Verbindung des Kastens mit dem Raum her, dessen Druck man messen will.

Da der Querschnitt des Kastens 0,0717 Quadratmeter und der des Cylinders oder Halses, in welcher sich der Schwimmer befindet, 0,0193 ist, so müßte die Bewegung des Schwimmers mit (0,0604 + 0,0113) : 0,0604 = 1,18 sein, um die Niveau-Veränderung, die von dem Drucküberschuß herrührt, anzugeben. Da die Länge der Nadel gleich 0,50 Meter und der Halbmesser der Kehle an der Rolle 0,01 Meter ist, so ist die Bewegung von dem Ende des Zeigers gleich dem 50fachen von dem des Schwimmers; es ist demnach die Belastung in Wassermillimeter = n· 1,18 : 50, wobei n die Millimeterzahl darstellt, welche von dem Ende der Nadel durchlaufen wird. Da die Länge des Quadranten 0,07853 Meter, und jede Hälfte 0,3926 Meter ist, so könnte der Apparat positiven oder negativen Drucküberschuß zwischen 1,18 : 50 = 0,023 Millimeter und 1,18 · 39,2 : 50 = 9,25 Millimeter angeben. Um das Verhältniß der von dem Ende des Zeigers und durch den Schwimmer durchlaufenem Wege zu bestimmen, mußte man sich nicht allein auf die Messung des Halbmessers der Rolle und auf den des Quadranten beziehen, indem ein kleiner Irrthum bei dem ersten Halbmesser einen zu großen Einfluß haben würde. Man müßte dieses Verhältniß durch einige direkte Messungen des Drucküberschusses mittels des weiter oben (427) beschriebenen Manometers bestimmen.

430. Glockenmanometer. — Der Apparat, den der Verfasser anfertigen ließ, bestand aus einer Glocke von dünnem Kupferblech von 0,50 Meter Durchmesser und 0,10 Meter Höhe; sie stand mit ihrem untern Theil in einem kranzförmigen Behälter von Weißblech, dessen innerer Cylinder oben verschlossen war. Die Glocke hing an einer Schnur, die sich um eine Rolle von 0,05 Meter Durchmesser wickelte, während die Rolle um eine feste Achse beweglich war. Eine andere Rolle auf derselben Achse, aber von 0,10 Meter Durchmesser, war mit einem Gewicht versehen, welches dem der Glocke das Gleichgewicht hielt; endlich befand sich auf derselben Achse ein ins Gleichgewicht gesetzter Zeiger, dessen Ende einen Theil des Kreises in Graden und Minuten getheilt, durchlief. Eine Röhre, die mit dem Raume, dessen Druck man messen wollte, oder mit der äußern Luft in Verbindung stand, öffnete sich unter der Glocke in der Platte, welche den untern Cylinder des kranzförmigen Behälters verschloß; der Apparat war durch Schrauben horizontal gestellt. Nachdem der Zeiger auf den Nullpunkt des Quadranten zurückgeführt worden ist, wenn der innere Druck den äußern gleich ist, und indem man die Verbindung mit dem Raum herstellt, dessen Druck man messen will, wird die Glocke steigen oder fallen, je nachdem der Druck größer oder kleiner sein wird, und dies bis dahin, daß das Gewicht von 5 Grmm., welches sich von der Rechten nach der Linken begeben hat, dem Ueberschuß des Drucks das Gleichgewicht hält. Bezeichnet man mit S den Grundriß der Glocke in Quadratcentimetern und mit P das Gewicht, welches in der Entfernung l von der Drehungsachse angebracht ist, mit i den Neigungswinkel des Zeigers zu seiner vertikalen Stellung, und mit p den Drucküberschuß des Gases in der Glocke auf den atmosphärischen Druck, so wird man offenbar haben $Sp = Pl \sin. i$.

Für die Dimensionen des beschriebenen Apparates hat man S = 2152 in Centimetern; P = 5; l = 5, und folglich sin. l = 86,08 p; alsdann für p = 0,001 Grmm., welches einer Wasserhöhe von 100 Millimetern entspricht; man würde sin. i = 0,086 haben, einen Werth, der 4° 29″ entspricht. Da bei diesem Apparat eine geringe Ungenauigkeit bei dem Werthe von l einen großen Einfluß haben würde, und da ein unvermeidlicher Fehler von dem mehr oder minder bedeutendem Eintritt von der Glocke in das Wasser hervorgeht, so mußte man das Instrument dadurch graduiren, daß man die Abweichungen des Zeigers, die einer gewissen Zahl von Drucküberschüssen entsprechen, beobachtete. Man würde alsdann eine Kurve ziehen, deren Abcissen den Druck, und die Ordinaten die Abweichungen des Zeigers darstellen würden; man könnte auf diese Weise sehr leicht eine Tabelle bilden, die sich dem den Abweichungen entsprechenden Druck näherte. Es ist ganz klar, daß, wenn man das Gewicht p oder die Länge l verändert, man leicht dahin gelangen muß, dem Instrument den für jeden Fall zweckmäßigsten Grad der Empfindlichkeit zu ertheilen.

Der Apparat, den der Verfasser einrichten ließ, war wegen des Gewichts der Glocke zu wenig empfindlich, und die Verbindungsröhre der Glocke mit dem äußern oder mit dem Raum, dessen Druck man messen wollte, war zu eng, so daß es zu lange dauerte, ehe das Gleichgewicht hergestellt werden konnte. Es hätten sich diese Mängel leicht beseitigen lassen, allein da der zu gleicher Zeit vorgerichtete Schwimmer-Apparat bequemer und weit empfindlicher war, so wurde der Glocken-Apparat ganz beseitigt.

Der belgische Oberbergingenieur de Vaux hat einen ähnlichen Apparat wie den hier beschriebenen vorgeschlagen; nur ist die Glocke durch ein Gewicht ins Gleichgewicht gebracht, dessen Werth man bestimmt, um das Gleichgewicht zu erhalten, wenn man den Druck messen will.

431. Der Verfasser hat noch eine andere Manometer-Einrichtung versucht, die eine große Empfindlichkeit versprach, die aber wegen eines unvorhergesehenen Falles aufgegeben werden mußte. Man denke sich zwei länglich viereckige Gefäße von Weißblech, die durch eine Seitenfläche mit einander in Berührung und unten mittels zweier senkrechter Glasröhren von 0,50 und 0,80 Meter Länge, die unten durch einen gebogenen Theil in Verbindung stehen, vereinigt sind. Nehmen wir ferner an, daß der untere Theil der Röhre eine Flüssigkeit von einer Dichtigkeit d, und der obere Theil, sowie ein Theil der beiden Gefäße eine leichtere Flüssigkeit von einer Dichtigkeit d′, jedoch ohne Einwirkung auf die erstere enthalte. Wenn nun in einem von den Gefäßen ein Drucküberschuß p befindlich ist, so wird er durch den Niveau-Unterschied p der Flüssigkeit in den beiden Gefäßen und durch den Höhenunterschied h′ der untern Flüssigkeit der beiden Glasröhren dargestellt; wenn man demnach mit S und s die Querschnitte der Gefäße und der Röhren bezeichnet, so wird man offenbar haben:

$$p = h\,d + h'\,(d - d'); \text{ und } h' = \frac{S}{s}\,h\,; \text{ daher } p = h' \left\{ d\frac{S}{s} + (d - d' \right\}$$

Nimmt man S sehr groß im Verhältniß zu s an, so würde man einfach p = h′ (d — d′) haben und der Apparat würde den wirklichen Druck mit (d — d′) dividiren. Der Verfasser hat für die untere Flüssig-

keit Schwefelkohlenstoff, der sehr flüssig und für die obere Flüssigkeit eine Lösung von Zinkvitriol benutzt, die ohne Einwirkung auf die erste ist und dessen Dichtigkeit man derart verändern kann, daß er sich so viel wie man will, der des Schwefelkohlenstoffes nähert; wenn aber die Dichtigkeiten nur eine geringe Verschiedenheit zeigen, so bilden sich durch die geringste Bewegung, selbst bei bedeutenden Durchmessern der Röhren, Kügelchen von Schwefelkohlenstoff, die in der andern Flüssigkeit hängen bleiben, so daß es unmöglich ist, eine scharfe Trennungsoberfläche der beiden Flüssigkeiten zu erhalten.

432. Kurz, die Apparate mit geneigter Röhre und mit Schwimmer, (428 und 429), deren große Empfindlichkeit und Genauigkeit durch die Erfahrung bestätigt sind, reichen in allen sich darbietenden Fällen aus; man kann selbst den Multiplikations-Coëffizienten durch Vergleichung mit einem gewöhnlichen Wassermanometer bestimmen, ohne Zuflucht zu dem (427) angegebenen Apparate nehmen zu müssen, der nur dann erforderlich wird, wenn die Messungen einer großen Genauigkeit bedürfen.

Drittes Buch.

Von den Essen.

433. Die Feuerungsapparate sind nach der Form und Beschaffenheit des hervorzubringenden Effectes in der Form und Einrichtung verschieden, allein im Allgemeinen bestehen sie aus drei getrennten Theilen, dem Rost, dem Heerd, auf welchem die Wärme benutzt werden soll und der Esse, auch Kamin oder Schornstein genannt.

434. Die Essen erfüllen zweierlei Zwecke:

1) sie werfen die oft mit Rauch beladene verbrannte Luft in großen Höhen in die Atmosphäre, indem es häufig nachtheilig, stets aber unbequem sein würde, wenn sich die Substanzen in geringen Höhen entwickelten;

2) sie saugen die zur Verbrennung auf dem Roste erforderliche Luft an.

Erstes Kapitel.

Bewegung der warmen Luft in senkrechten Röhren.

435. Wenn eine Luftmasse eine höhere Temperatur als die umgebende Luft hat, so sucht sie sich in Folge einer Kraft zu erheben, die gleich dem Ueberschuß des Gewichts der verdrängten Luft über ihr eigenes ist. Es ist dies ein besonderer Fall des Archimedischen Grundsatzes.

Dasselbe findet statt, wenn die warme Luft sich in einer senkrechten, an beiden Enden offenen Röhre AB (Fig. 51) befindet. Wenn wir mit P den atmosphärischen Druck in Kilogrammen in der Höhe des Punktes A auf eine dem Röhrenquerschnitt gleiche Oberfläche, mit p und p′ das Gewicht der beiden Luftsäulen, welche das Volum der Röhre unter dem atmosphärischen Druck, die eine mit der Temperatur der äußern, die andere mit der der warmen Luft haben, so ist es offenbar, daß der auf den Punkt P von unten nach oben ausgeübte Druck $P \times p$, und daß der auf denselben Punkt in entgegengesetzter Richtung ausgeübte Druck $P \times p'$ sein wird. Es muß sich daher die warme Luftsäule in Folge des Druckes $p - p'$ er-

heben. Es folgt daraus, daß wenn die Röhre AB unten an eine horizontale Röhre BC angebracht und wenn dieser horizontale Theil durch Feuer (Fig. 52) erhitzt wäre, die äußere Luft ununterbrochen durch die Oeffnung C ein- und durch die Oeffnung A erwärmt ausströmen würde. Dieses Ausströmen würde in Folge des Ueberschusses von dem atmosphärischen Drucke am Punkte C auf den innern Druck am untern Theile der Röhre AB stattfinden.

436. Um die Eintrittsgeschwindigkeit der äußern Luft am Punkte C zu erhalten und indem wir den Querschnitt des Kanals als konstant annehmen, erinnern wir, daß die Ausströmungsgeschwindigkeit einer Flüssigkeit oder eines Gases, wenn man die von der Form und den Dimensionen des Kanals abhängenden Widerstände unberücksichtigt läßt, durch die Formel (226)

$$v = \sqrt{2gP}$$

gegeben ist; in derselben stellt P die Höhe einer dem Druck unterworfenen flüssigen Säule dar, die diesem Druck, dessen Entstehung eine beliebige sein kann, das Gleichgewicht hält. In dem vorliegenden Falle ist P offenbar die Höhe einer äußern Luftsäule und es ist leicht, deren Werth zu finden.

Bezeichnen wir mit H die Höhe der Esse von dem Mittelpunkte des Querschnittes C (Fig. 52) aus, durch Θ die äußere Temperatur, durch t die Luft der Esse und mit M den atmosphärischen Druck am Punkte A, in der Luft von Θ^0. Der Druck am Punkte C von außen nach innen durch eine Luftsäule, von Θ^0 gemessen, wird $M + H$, und der Druck in entgegengesetzter Richtung und auf dieselbe Weise gemessen wird sein $M + H (1 + a\Theta) : (1 + at)$, und man wird daher für den Ueberschuß des ersten Druckes über den zweiten haben:

$$M + H - \left(M + \frac{H\,(1 + a\Theta)}{1 + at}\right) = \frac{Ha\,(t - \Theta}{1 + at}$$

und folglich

$$v = \sqrt{\frac{2gHa\,(t - \Theta)}{1 + at}} \quad \ldots\ldots\ldots (A)$$

437. Es ist noch zu bemerken, daß der Druck in allen Höhen der warmen Luftsäule gleich dem auf dem Punkte C gefundenen ist. Betrachtet man einen horizontalen Querschnitt der Esse in einer Entfernung von H', von ihrem obern Ende, so wird der Druck von unten nach oben, den er zu tragen hat, in Luft von Θ^0 geschätzt sein $M + H\,(H - H')\,\dfrac{1 + a\Theta}{1 + at}$; der Druck nach der entgegengesetzten Richtung wird dagegen sein $M + H'\,\dfrac{1 + a}{1 + at}$; und indem man den letztern Ausdruck von dem erstern abzieht, findet man, wie vorher $Ha\,\dfrac{(t - \Theta)}{1 + at}$.

438. Die Ausströmungsgeschwindigkeit v' der warmen Luft, so wie die Geschwindigkeiten stehen im umgekehrten Verhältniß zu den Dichtigkeiten, so daß man haben wird:

$$v' = v \frac{1 + at}{1 + a\Theta}; \text{ daher } v' = \sqrt{\frac{2gHa(t - \theta)(1 + at)}{(1 + a\Theta)^2}} \ldots . (B)$$

439. Die Formeln (A) und (B) könnten unter eine bequemere Form für die Anwendung gesetzt werden, indem man $\sqrt{2ga}$ durch seine Werthe ersetzt; man hat alsdann:

$$v = 0{,}268 \sqrt{\frac{H(t-\Theta)}{1 + at}} \text{ und } v' = \frac{0{,}268}{1 + a\theta} \sqrt{H(t-\Theta)(1 + at)}$$

Die Formel (A) ist die einzig richtige, denn der Nutzeffect der Essen besteht stets in einem Ansaugen der äußern Luft.

440. Wir haben in dem Gesagten angenommen, daß die Dichtigkeit der Luft nur von ihrer Temperatur abhinge; das Verhalten ist aber nicht ganz so, weil die Dichtigkeit der Luft bei gleicher Temperatur, in dem Maße als sie sich erhebt, abnimmt; es läßt sich aber leicht erkennen, daß für die höchsten Essen, die aus den Höhenveränderungen hervorgehenden Dichtigkeits=veränderungen unmerklich sind. Wirklich wird für die Barometerhöhe von 0,76 Meter der atmosphärische Druck dergestalt durch eine Wassersäule von $0{,}76 \cdot 13{,}6 = 10{,}336$ Meter und durch eine Luftsäule bei 0^0 unter demselben Druck gleich $\frac{10{,}336}{0{,}0013}$ Meter, $= 7950$ Meter. Es wird demnach die Dichtigkeit der Luft z. B. in einer Höhe von 20 Meter gleich der an der Oberfläche des Bodens wesentlich in dem Verhältniß von 7930 zu 7950, d. h. in dem von 1 zu 1,0025 stehen, welche Veränderung gänzlich unberücksichtigt bleiben kann.

441. Wir haben angenommen, daß die senkrechte cylindrische Röhre an beiden Enden vollkommen offen sei; es ist aber leicht einzusehen, daß die Stellung und die Form des Kanals ohne Einfluß auf den Druck sind, den das Hinzuströmen der äußern Luft hervorbringt, wenn die Temperatur in dem Kanal überall gleich t ist und wenn H die Niveau=Differenz der beiden Enden des warmen Luftkanals darstellt. Wenn die Luft in dem aufsteigenden Kanal Temperaturveränderungen erlitte, so müßte man für t die mittlere Temperatur annehmen.

442. Die Formel (A) giebt die Einströmungsgeschwindigkeit der äußern Luft, ohne Berücksichtigung jeden Widerstandes; es finden aber stets Druckverluste statt, die von der Reibung und von der Form des Kanals herrühren. Wenn die Esse, statt cylindrisch zu sein, Richtungs und Quer=schnittsveränderungen hätte, so würde die Belastung, welche den Zutritt der kalten Luft hervorbrächte, stets dieselbe sein; allein die wirkliche Zutritts=Geschwindigkeit würde erlangt werden, wenn man alle Widerstände mittels der allgemeinen Formel (381) berücksichtigte; wir kommen später auf diese Frage zurück.

443. Um zu erkennen, wie die Zutrittsgeschwindigkeit V der äußern Luft in dem Maße als d nach der Formel (A) zunimmt, sich verändert, wollen wir $\theta = 0$ annehmen; es wird alsdann die Formel:

$$v = \sqrt{2gH} \sqrt{\frac{at}{1 + at}}.$$

Der erste Faktor des Werthes v stellt die Geschwindigkeit dar, die ein Körper, der von der Höhe H herabfällt, annehmen würde und da der zweite Faktor stets kleiner als die Einheit ist, so ist die Zutrittsgeschwindigkeit stets nur ein Bruch von der erstern Geschwindigkeit. Indem man nach und nach für t annimmt

50° 100° 150° 200° 250° 300° 350° 400° 500° 1000° 1500° 2000°

findet man für die Werthe des zweiten Faktors

0,39 0,51 0,57 0,64 0,68 0,71 0,74 0,76 0,80 0,88 0,91 0,93

Diese, mit den ersten dividirten Zahlen geben die Verhältnisse:

1 1,31 1,51 1,65 1,76 1,83 1,90 1,96 2,06 2,25 2,34 2,38

Daher nimmt die Einströmungsgeschwindigkeit der kalten Luft stets mit t zu; allein es hat diese Zunahme eine Grenze; denn in dem Maße als t zunimmt, nähert sich das Verhältniß $\frac{a t}{1 + a t}$ welches gleich $\frac{a}{\frac{1}{t} + a}$ ist stets der Einheit und folglich schwankt die Einströmungsgeschwindigkeit der kalten Luft von $t = 50^0$ bis $t = \infty$ in dem Verhältniß von 0,30 zu 1 oder in dem von 1 zu 2,56.

Es folgt daraus, daß die Zutrittsgeschwindigkeit der kalten Luft, die, da sie sehr langsam mit der Temperatur zunimmt, der Nutzeffekt der Esse um so mehr Brennmaterial kostet, je höher die Temperatur der Luft ist.

Da die Maximalgeschwindigkeit des Einströmens der äußern Luft gleich ist $\sqrt{2 g H}$, so ist sie für Essen von

5 M. 10 M. 20 M. 30. M. 40 M.

gleich

9,9 M. 14,0 M. 19,8 M. 24,3 M. 28,0 M.

und für einen Temperaturüberschuß von 300 Grad würden die Geschwindigkeiten nur 0,71 von den größten sein. Die Geschwindigkeiten sind außerdem durch die Widerstände, welche die warme Luft bei ihrer Bewegung erleidet, wesentlich vermindert, wie wir weiter unten sehen werden.

444. Wir haben angenommen, daß, wenn die Luft in den senkrechten Kanal einströmt, bei ihrer Erhitzung nur die aus dem Temperaturwechsel hervorgehende Dichtigkeitsveränderung erlitte; gewöhnlich aber entsteht die Erwärmung von der Verbrennung, es wird die Beschaffenheit des Gases verändert und es muß untersucht werden, was aus den Formeln (A) und (B) (436 und 438) werden wird, wenn die Dichtigkeit des Gases irgend eine und gleich δ ist, statt der Einheit gleich zu sein.

In diesem Falle wird die Höhe der innern Säule, auf Θ^0 und auf die Dichtigkeit der äußern Luft zurückgeführt, sein:

$$\frac{H \delta (1 + a \Theta)}{1 + a t}$$

und der Unterschied der beiden äußeren und inneren Säulen oder der Druck wird sein:

$$H - \frac{H \delta (1 + a \Theta)}{1 + a t} = \frac{H (1 - \delta + a (t - \delta \Theta))}{1 + a t}; \text{ oder } \frac{H (1 - \delta + a t)}{1 + a t}$$

wobei der Ausdruck $\delta a \Theta$ unberücksichtigt gelassen wird.

Wenn z. B. der gesammte Sauerstoff in Kohlensäure verwandelt worden, und die Dichtigkeit dieses letztern Gases 1,529 und die des Stickstoffs 0,976 wäre, so müßte die des Gemenges sein $0{,}21 \cdot 1{,}529 + 0{,}79 \cdot 0{,}976 = 1{,}091$. Wenn nur die Hälfte des Sauerstoffes in Kohlensäure verwandelt worden wäre, wie es gewöhnlich der Fall ist, so würde die Dichtigkeit nur 1,04 sein. Wird nun Θ in dem Ausdrucke der Belastung unberücksichtigt gelassen, so würde sie in den beiden Fällen werden:

$$\frac{H\,(a\,t - 0{,}091)}{1 + a\,t}\;; \text{ und } \frac{H\,(a\,t - 0{,}04)}{1 + a\,t}\;;$$

und die Belastungen würden dieselben sein, als wenn t um 25 Grad im erstern Falle und um 11 Grad im zweiten Falle vermindert worden wäre, sehr unwesentliche Verminderungen, hauptsächlich, wenn t bedeutend ist. Da nun die sich von den Heerden entwickelnden Gase stets Wasserdämpfe enthalten, welche von dem Wassergehalt der Brennmaterialien oder von demjenigen herrühren, den sie hervorbringen und da die Dichtigkeit des Wasserdampfes gleich 0,621 ist, so vermindert sein Vorhandensein die Wirkung der Kohlensäure. Man kann daher als eine für die Praxis hinreichende Annäherung annehmen, daß der von einer Säule des Gemenges von Luft und Gas, in Folge der Verbrennung herrührende Nutzeffekt derselbe ist, als wenn die Säule aus reiner Luft bestände.

445. Bewegung der warmen Luft in einem aus mehreren senkrechten Röhren, die nach und nach durchströmt werden, bestehenden Kanale. — Wenn die warme Luft nach und nach steigend und fallend mehrere senkrechte Röhren durchströmt, in welchen sie nicht gleiche Temperatur haben würde, so würde die Belastung am Anfang des Kanals zu gleicher Zeit von der Höhe der Röhren und von der Temperatur der heißen Luft abhängen. Wir wollen sie auf eine allgemeine Weise zu bestimmen suchen.

446. Betrachten wir zuvörderst eine Esse AB (Fig. 53), die sich horizontal nach BC verlängert und senkrecht nach CD abwärts geht, so daß der Kanal eine heberartige Form hat. Stellen wir durch t und t' die Lufttemperaturen in den Röhren AB und CD, durch Θ die der äußern Luft, durch p und p' den atmosphärischen Druck an den Punkten A und D in Luft zu Θ^0 und unter dem normalen Drucke bestimmt dar, endlich durch m und m' die Höhen der Luftsäulen bei Θ^0 gleich den warmen Luftsäulen AB und CD. Es wird alsdann der Luftdruck bei Θ^0, der das Einströmen der kalten Luft am Punkte A bestimmt, offenbar gleich sein $p - m + m' - p'$; und da der Druck der äußern Luft an dem Punkte D den Druck an dem Punkte A um eine äußere Luftsäule übersteigt, die gleich $H' - H$ sein wird, so erhält man für den Luftdruck von Θ^0 am Punkte A:

$$p - \frac{H(1 + a\Theta)}{1 + at} + \frac{H'(1 + a\Theta)}{1 + at'} - (p + H' - H) = \frac{H\,a(t - \Theta)}{1 + at} - \frac{H'\,a\,(t' - \Theta)}{1 + at'}.$$

Es ist demnach der Druck gleich der Differenz des entsprechenden Druckes an den beiden einzeln genommenen Schenkeln. Das Ausströmen findet offenbar in der Richtung AB statt, wie auch vorausgesetzt worden, wenn der vorhergehende Ausdruck positiv ist. Wenn man die äußere Luft bei 0^0 annimmt, und wenn man die Ausdrücke $H a^2 t t'$ und $H' a^2 t t'$, da

sie stets sehr klein sind, und vorausgesetzt, daß $a^2 = 0{,}000134$, unberücksichtigt läßt, so wird der Werth des äußern Luftdruckes:

$$\frac{a(Ht - H't')}{1 + a(t + t')},$$

ein Ausdruck, der positiv ist, wenn Ht größer als H′t′ ist, welches sich immer erlangen läßt, sei H′ welches es wolle, wenn man t′ durch die Abkühlung der Luft in den Röhren BC und CD hinreichend erkaltet. Es können daher die von einem Feuerplatz herrührenden Gase sich stets zu irgend einer Höhe, selbst unter dem Rost, entwickeln.

447. Wenn eine dritte Säule EF (Fig. 54) vorhanden wäre und man bezeichnete ihre Höhe mit H′, die mittlere Temperatur der darin vorhandenen Luft mit t″, mit m″ die Höhe einer Luftsäule bei Θ°, die denselben Druck hervorbringt, so wird unter Berücksichtigung des Obigen der Druck an dem Punkte A sein $p - m + m' - m'' - p'$; allein man hat $p' + H'' - H' + H = p$; und folglich wird der Druck am Punkte A in Luft Θ° sein

$$p - \frac{H(1+a\Theta)}{1+at} + \frac{H'(1+a\Theta)}{1+at'} - \frac{H''(1+a\Theta)}{1+at''} - p - (H'' - H' + H)$$

$$= \frac{Ha(t-\Theta)}{1+at} - \frac{H'a(t'-\Theta)}{1+at'} + \frac{H''a(t''-\Theta)}{1+at''}.$$

Das Ausströmen wird in dem angenommenen Falle von A nach F stattfinden, wenn der Ausdruck positiv ist. Läßt man, wie vorhergehend, die Ausdrücke, welche a^2 und daher auch a^3 einschließen, unberücksichtigt und nimmt $\Theta = 0$ an, so reducirt sich der vorhergehende Ausdruck auf:

$$\frac{a(Ht - H't' + H''t'')}{1 + a(t + t' + t'')}.$$

Es ist demnach leicht, diesem nach die Formel zu finden, die irgend einer Anzahl von Röhren entspricht.

448. Wir wollen jetzt annehmen, daß die Röhre die Form eines umgekehrten Hebers habe (Fig. 55); unter Berücksichtigung des Obigen wird der Druck am Punkte A in Luft von Θ° sein $p + m - m' + p$, oder

$$p + \frac{H(1+a\Theta)}{1+at} - \frac{H'(1+a\Theta)}{1+at'} - p + H' - H = -\frac{Ha(t-\Theta)}{1+at} + \frac{H'a(t'-\Theta)}{1+at'}.$$

Wie in dem vorhergehenden Falle wird der Nutzeffect gleich dem Unterschiede der Effecte sein, den die beiden Schenkel, einzeln gedacht, hervorbringen. Läßt man die Ausdrücke, welche a^2 enthalten, unberücksichtigt, und macht man $\Theta = 0$, so reducirt sich der Werth des Druckes auf:

$$-\frac{a(Ht - H't')}{1 + a(t + t')},$$

ein Werth, der positiv sein wird, wenn H″t″ größer als Ht ist. Man wird dieser Bedingung stets Genüge leisten können, wenn man H′ vergrößert und wenn man die Abkühlung der Luft in der horizontalen Röhre BC verhindert.

449. Wenn der Kanal aus drei Röhren (Fig. 56) bestände, so würde der Druck am Punkte A in Luft von Θ^0 offenbar sein $p + m - m' + m'' - p'$ oder

$$p + \frac{H(1+a\Theta)}{1+at} - \frac{H'(1+a\Theta)}{1+at'} + \frac{H''(1+a\Theta)}{1+at''} - (p + H - H' + H'') =$$

$$-\frac{Ha(t-\Theta)}{1+at} + \frac{H'a(t'-\Theta)}{1+at'} - \frac{H''a(t''-\Theta)}{1+at''}$$

oder bei der Hypothese $\Theta = 0$

$$\frac{a(-Ht + H't' - H''t'')}{1 + a(t + t' + t''}.$$

Wenn man diesen Gang verfolgt, so kann man den Druck für jede beliebige Anzahl von Röhren leicht berechnen.

Im Allgemeinen ist der Nutzeffekt gleich der Summe der Nutzeffekte, die durch einzelne Röhren, in denen warme Luft aufwärts strömt, hervorgebracht wird, vermindert um die Summe der Nutzeffekte der Röhren, in denen die warme Luft abwärts strömt.

450. Es muß bemerkt werden, daß in dem Fall das warme Gas abwärts zu strömen beginnt, und unter der Annahme, daß die Bezeichnung des Drucks positiv sei, die Bewegung nicht eher erfolgen kann, als bis die Thätigkeit des Hebers veranlaßt worden ist; es wird dieß dadurch bewirkt, daß man irgend einen von den Schenkeln, in welchem die Luft aufwärts strömt, erwärmt. Es ist aber ganz klar, daß diese Vorsichtsmaßregel da wegbleiben kann, wo die warme Luft in der ersten Säule aufwärts steigt.

451. Bewegung der warmen Luft in einem Kanal, der auf eine gewisse Länge aus mehren senkrechten Röhren besteht, die gleichzeitig durchströmt werden. — Wir wollen zuvörderst einen senkrechten Kanal (Fig. 57) annehmen, der auf einer gewissen Höhe zwei parallele und gleiche Schenkel enthält. Wenn alle beide Luft von gleicher Temperatur enthalten, und die übrigen Verhältnisse in beiden Schenkeln gleich sind, so wird die aufwärts strömende warme Luft sie mit gleicher Geschwindigkeit durchlaufen; je geringer aber der Unterschied bei den Durchmessern, bei dem Widerstand oder bei den Erkaltungsursachen ist, um so weniger wird diese gleiche Geschwindigkeit vorhanden sein. Wenn nun der Querschnitt eines jeden von ihnen gleich dem Querschnitt der äußersten Röhren ist, so wird die Bewegung nur in einem einzigen stattfinden, nämlich in dem, welcher den geringsten Widerstand hat. Diese Erscheinung findet offenbar ohne Berücksichtigung der Anzahl der Röhren statt.

452. Wenn der Kanal nur auf einen gewissen Theil seiner Länge erweitert wäre (Fig. 58), so würde der warme Luftstrom die Erweiterung der Röhre nicht nothwendig ausfüllen müssen; füllte er sie von Anfang an aus, so würde die Erkaltung der Wände sehr bald eine Temperaturabnahme von der Mitte nach der Peripherie bewirken; es würden in den elementaren Strömen und in einer gleichen Richtung Geschwindigkeitsveränderungen stattfinden, die derart zunehmen müßten, daß der warme Luftstrom den erweiterten Raum ohne wesentliche Vergrößerung des Querschnitts durchströmen würde.

453. Wir wollen jetzt annehmen, daß die von einer Esse angesaugte warme Luft in einen Kanal niedergehe, der von zwei parallelen Schenkeln gebildet ist (Fig. 59). In diesem Fall wird sich die warme Luft in beiden Schenkeln gleich vertheilen und die gleiche Geschwindigkeit wird sich, ohnerachtet der ungleichen Erkaltung, welche die Luft erleiden könnte, darin erhalten.

Wirklich ist in jedem Schenkel der die Bewegung veranlassende Druck gleich dem Unterschiede des Drucks in der Esse, welche das Ansaugen veranlaßt, sowie in dem fraglichen Kanal, die Röhrenschenkel einzeln gedacht, gleich. Wenn daher in dem einen Schenkel die Erkaltung größer wäre als in dem andern, so würde die Geschwindigkeit in demselben größer werden. Dasselbe Verhältniß würde in dem Fall stattfinden, daß irgend eine beliebige Zahl paralleler Röhren vorhanden wäre.

454. Wenn der Kanal, durch den die Luft niederwärts strömt, erweitert wäre (Fig. 60), so würden die elementaren Ströme in der Erweiterung, aus denselben Gründen wie vorhergehend, dieselbe Temperatur annehmen und beibehalten.

Diese durch die Erfahrung hinreichend bestätigten Thatsachen sind von großer Wichtigkeit bei der Konstruktion der Heizapparate, wie wir im dritten Bande des vorliegenden Werkes deutlich sehen werden.

455. Wir müssen bemerken, daß bei Allem, was in Beziehung auf den Werth der Geschwindigkeit der Gase in den Essen gesagt worden ist, die Widerstände der Luft bei deren Bewegung ganz unberücksichtigt gelassen sind. Da aber diese Widerstände nur selten unberücksichtigt bleiben können, so folgen daraus stets größere oder geringere Geschwindigkeitsverminderungen. Wenn nur ein Kanal für die niederströmenden Gase vorhanden ist, so zeigt sich Reibung an den Oberflächen, und es muß daher dort die Geschwindigkeit geringer sein, als an allen übrigen Durchschnittspunkten; die Abkühlung, welche die warme Luft in dem Kanal erleidet, sucht die Geschwindigkeitsdifferenz, die natürlich in den Strömen entsteht, zu vermindern, und es wird diese Differenz noch durch die Transmission des Widerstandes und der Temperatur vermindert. Wenn der abwärts gehende Kanal aus mehren Röhren von gleichem Durchschnitt und gleicher Länge bestände, so würde das Ganze auf dieselbe Weise vor sich gehen, als bei einer jeden einzelnen, und die warme Luft würde dieselbe Geschwindigkeit erlangen. Wenn aber die Röhren verschiedene Durchschnitte haben, so muß die Geschwindigkeit durch die Abkühlung, welche sie zu vermehren strebt, so wie durch die Reibung, die ihre Verminderung veranlaßt, verändert werden. Die Reibung ist im Verhältniß zu dem Quadrat der Geschwindigkeiten verschieden, während die Abkühlung sich wie der Durchmesser verhält und ebenfalls von der Geschwindigkeit abhängt; es ist daher sehr schwierig, den Gegenstand auf eine allgemeine Weise zu berechnen. Die Abkühlung ist im Allgemeinen stets sehr gering und der Einfluß der Reibung fast immer bedeutender; die wirkliche Geschwindigkeit wird daher um so geringer sein, und die Röhren werden einen um so geringern Durchmesser haben, welches übrigens vollkommen mit der Erfahrung übereinstimmt. Die Geschwindigkeitsdifferenzen werden übrigens um so geringer sein, je kleiner die Geschwindigkeiten selbst sind.

456. Aeltere Theorie von dem Zuge der Essen. — Bis jetzt hat man angenommen, daß der Druck der Luft bei Θ^0 (436), Ha

$(t-\Theta):(1+at)$ sich unmittelbar auf die warme Luft anwenden lasse, und es folgte daraus, daß, da der Druck der Luft bei t^0 $Ha(t-\Theta):(1+a\Theta)$ die Ausströmungsgeschwindigkeit der warmen Luft war

$$v_1' = \sqrt{\frac{2gHa(t-\Theta)}{1+a\Theta}};$$

und man hatte für die Einströmungsgeschwindigkeit der kalten Luft

$$v_1 = v_1' \frac{1+a\Theta}{1+at} = \sqrt{\frac{2gHa(t-\Theta)(1+a\Theta)}{(1+at)^2}},$$

Formeln, welche vollständig von denen (A) und (B) (436 und 438) abweichen, denn man hat offenbar

$$v_1' = v' \sqrt{\frac{1+a\Theta}{1+at}}; \text{ und } v_1 = v \sqrt{\frac{1+a\Theta}{1+at}}:$$

Es sind daher die Geschwindigkeiten v_1' und v_1 geringer, als die Geschwindigkeiten v' und v. Außerdem hat der Werth von v_1 eine Eigenthümlichkeit, die bei dem Werthe von v nicht vorhanden ist. Wenn Θ konstant bleibt, so steigert man nach und nach den Werth von t, v_1 nimmt alsdann zu, erlangt ein Maximum für $1 = \frac{1}{a} + 2\Theta = 274 + 2\Theta$ und vermindert sich alsdann ins Unendliche.

457. Der Druck der Luft von Θ^0 wirkt direkt auf die in die Esse dringende, und nicht auf die warme Luft. Es repräsentiren daher die Formeln, welche wir mitgetheilt, und die von Allen, die sich bis jetzt mit der Frage beschäftigt haben, und auch von dem Verfasser in der zweiten Auflage dieses Werks angenommen worden sind, nicht die Erscheinungen der Wirklichkeit. Es folgt dieses Resultat aus einer genauern Untersuchung, und aus einigen Versuchen des Verfassers, die nun mitgetheilt werden sollen.

458. Wir wollen eine horizontale Röhre annehmen, durch welche Luft aus einem Gasometer ausströmt. Bezeichnen wir mit L und D die Länge und den Durchmesser der Röhre; mit P den Ueberschuß des Drucks in dem Gasometer über dem atmosphärischen; mit p den Druck, welcher der Ausströmungsgeschwindigkeit am Ende der Röhre entspricht; und der eine und der andere in Luft von der äußern Temperatur Θ ausgedrückt; endlich mit A den Coëffizienten des Druckverlustes an der Mündung. Da die Röhre die Temperatur der äußern Luft hat, so wird man haben:

$$P - p = \left(A + \frac{LK}{D}\right) p, \text{ und } V = \sqrt{\frac{2gP}{1 + A + \frac{KL}{D}}} \quad \ldots\ldots (a)$$

Nehmen wir jetzt an, daß man die Röhre auf solche Weise erwärme, um ihre Temperatur auf t^0 zu erhöhen; giebt man zu, daß das Ausströmen der warmen Luft durch den Druck der warmen Luft erfolgt sei, so

wird diese Charge sein $P\,\frac{(1+at)}{1+a\Theta}$ und es wird die Ausströmungsgeschwindigkeit der kalten Luft des Gasometers sein

$$v_1 = \frac{1+a\Theta}{1+at}\sqrt{\frac{2gP(1+at)}{1+a\Theta}\cdot\frac{1}{1+A+\frac{KL}{D}\left(\frac{1+at^2}{1+a\Theta}\right)}} \quad \ldots \text{(b)}$$

und wenn man Alles unter das Wurzelzeichen setzt, so wird der erste Faktor $2gP\,\frac{1+a\Theta}{1+at}$, und man sieht, daß das Verhältniß von V zu v größer als die Quadratwurzel von $\frac{1+at}{1+a\Theta}$ wird.

Nach der neuen Theorie hat man für die Geschwindigkeit v der kalten Luft

$$v = \sqrt{\frac{2gP}{1+A+\frac{KL}{D}\left(\frac{1+at}{1+a\Theta}\right)^2}} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(c)}$$

und das Verhältniß von V zu v nimmt nun sehr langsam, in dem Maaß, daß t zunimmt, ab, und nur durch den von der Reibung herrührenden Widerstand, so wie auch von dem, welcher durch die Temperaturerhöhung bedingt wird.

459. Um den Einfluß der Lufterwärmung in der Ausströmungsröhre AB zu erkennen, hat der Verfasser die in Fig. 61 angedeutete Einrichtung gewählt. AB ist eine Röhre von Kupferblech von 1 Meter Länge und von 0,01 Meter Durchmesser, die mit einem Gasometer in Verbindung steht. Auf einem Theile ihrer Länge ist sie von einer andern concentrischen Röhre CD umgeben; der Zwischenraum zwischen den beiden Röhren wurde mit Korkscheiben verschlossen und zwischen die beiden Röhren strömte durch die Röhre a Wasserdampf, der durch die Röhre b wieder ausströmte. Wenn die Röhre nicht erwärmt war, so strömte ein gewisses Luftvolum in 612″ aus, war aber die Röhre erwärmt, so erfolgte die Ausströmung desselben Luftvolums unter demselben Drucke und in derselben Temperatur in 618″.

460. Zur Erlangung einer noch höhern Temperatur wendete der Verfasser die in Fig. 62 dargestellte Einrichtung an. AB ist eine Glasröhre von 0,320 Meter Länge und von 0,0047 Meter Durchmesser, die am Ende einer eisernen Röhre BC von 0,90 Meter Länge und 0,11 Meter Durchmesser angebracht ist. Unter der eisernen Röhre befindet sich ein Rost DE von fast gleicher Länge, der glühende Holzkohlen aufnimmt. Für diese Einrichtung werden die Gleichungen (a), (b), (c) durch die folgenden ersetzt:

$$V = \sqrt{\frac{2gP}{1+A-B+\frac{Kl}{d}+\frac{KL}{D}\,\frac{d^4}{D^4}}} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(a')}$$

$$v_1 = \frac{1+a\Theta}{1+at}\sqrt{\frac{2gP(1+at)}{1+a\Theta} \cdot \frac{1}{1+A-B+\frac{Kl}{d}+\frac{KL}{D}\,\frac{d^4}{D^4}\left(\frac{1+at}{1+a\Theta}\right)^2}} \quad (b')$$

$$v \sqrt{\frac{2gP}{1+A-B+\frac{Kl}{d}+\frac{Kl}{D}\,\frac{d^4}{D^4}\left(\frac{1+at}{1+a\Theta}\right)^2}} \; . \; . \; . \quad (c')$$

in welchen V die Ausströmungsgeschwindigkeit in der kleinen Röhre, wenn die Luft nicht erwärmt ist, darstellt; v_1 und v die Geschwindigkeit der kalten Luft, wenn die Luft in der großen Röhre erwärmt ist, je nachdem man die alte oder die neue Theorie annimmt. l, L, d, D sind die Längen und die Durchmesser der Röhren AB und BC; A, B sind die Coëfficienten der Veränderung des Druckes an der Oeffnung, sowie an dem Punkte, wo sich die Röhre plötzlich erweitert.

In dem vorliegenden, sowie in dem vorhergehenden Falle ist das Verhältniß von V zu v_1 größer als die Quadratwurzel von $1 + at : 1 + a\Theta$, während das Verhältniß von V zu v wenig von der Einheit verschieden ist.

Wenn die eiserne Röhre die äußere Temperatur hat, so strömt ein gewisses Luftvolum in 620 Sekunden aus; wenn sie aber dunkelglühend ist, so sind zum Ausströmen desselben Luftvolums unter denselben Luftzuständen 600 Sekunden erforderlich. Nachdem die äußere Röhre durch eine andere von 0,13 Meter Durchmesser und von 1,16 Meter Länge ersetzt war, erfolgte die Ausströmung der kalten Luft in 615 Sekunden und wenn die Röhre rothglühend gemacht worden war, so erhob sich die Dauer der Ausströmung unter denselben Umständen auf 648 Sekunden. Die äußere Temperatur betrug 14°.

Diese Versuche gestatten keine genaue Bestimmung, welcher von den beiden Formeln (b) und (c) oder (b′) und (c′) sie angehören, weil es unmöglich war, die Temperatur der Luft bei ihrem Ausströmen zu messen, und weil diese Zunahme nach und nach erfolgte, so daß der Widerstand in der Röhre AB nicht berechnet werden konnte. Jedoch ist es leicht zu finden, daß die Gleichungen (b) und (b′) mit den Gleichungen (a) und (a′) unvereinbar sind.

461. Bei dem ersten Versuche ist das Geschwindigkeitsverhältniß der kalten Luft, wenn die zweite Röhre kalt und wenn sie warm ist, gleich $\frac{618}{612} = 1{,}0099$; und wenn man nach den Formeln (a) und (b) die Wärme der Luft zu 100° annimmt, so müßte dieses Verhältniß größer werden als die Quadratwurzel von $\frac{1{,}366}{1{,}0366}$, welche gleich 1,1471 ist. Läßt man die Zunahme des Widerstandes in der Röhre AB unberücksichtigt, eine Zunahme, welche das fragliche Verhältniß vermehrt, so müßte man, wenn die Formel (b) mit der Erfahrung übereinstimmte, t = 15,7° annehmen, welches unmöglich ist, da die Temperatur fast 100° beträgt.

Bei dem zweiten Versuche betrug das fragliche Geschwindigkeitsverhältniß $\frac{650}{620} = 1{,}0483$; und nach der Formel (b) müßte dieses Verhältniß, wenn man nur Luft von 400° annimmt, die Quadratwurzel von $\frac{2{,}464}{1{,}05124}$,

welche gleich 1,53 ist, übersteigen. Läßt man die Zunahme des Widerstandes in der Röhre AB unberücksichtigt, so müßte man, damit die Formel (b′) mit der Erfahrung übereinstimmte t = 42,4° annehmen, welches aber auch unmöglich ist, da die äußere Röhre dunkelrothglühend geworden war.

Bei dem letzten Versuche endlich betrug das Geschwindigkeitsverhältniß $\frac{648}{615} = 1,0536$; und wenn man nach der Formel (b′) die Luft nur zu 600° annimmt, so müßte dieses Verhältniß die Quadratwurzel von $\frac{3,191}{1,0512}$, welche daher gleich 1,743 ist, übersteigen. Läßt man, wie vorher, die Erhöhung des Widerstandes in der Röhre AB unberücksichtigt, damit die Formel (b′) mit der Erfahrung übereinstimmte, so müßte man t = 45,5° annehmen, welches aber nicht der Fall sein kann, da die Luft wärmer ausströmte, als im vorhergehenden Falle.

Die bestätigten Differenzen zwischen den Resultaten der Formeln (b) und (b′) und denen der Erfahrung sind zu groß, als daß man sie Irrthümern bei der Dauer des Ausströmens zuschreiben könnte. Wenn man z. B. bei dem ersten Versuche den von der Reibungszunahme herrührenden Widerstand unberücksichtigt läßt, so mußte die Dauer der Ausströmung sein 612 · 1,1471 = 900 Sekunden statt 618 Sekunden; d. h. größer sein, als 900 — 618 = 282 Sekunden. Für die andern würde aber diese Differenz noch weit größer gewesen sein. Jeder Versuch wurde auch zwei Mal wiederholt, während die Resultate dieselben blieben.

462. Aus allen diesen Versuchen geht ganz offenbar hervor, daß die Formeln (b) und (b′) nicht zugelassen werden können, d. h. wenn die Luft in eine horizontale Röhre in Folge eines Druckes ausströmt und wenn die Luft in einer gewissen Entfernung erwärmt ist, so kann die Ausströmungsgeschwindigkeit der kalten Luft nicht von der der warmen Luft abgezogen werden, wenn man für den Druck dieses Ausströmens den Druck in warmer Luft nimmt. Nimmt man aber an, daß der äußere Druck mit kalter Luft bewirkt worden sei, so wird die Ausströmungsgeschwindigkeit nur eine geringe Verminderung erleiden, die aus der Zunahme des Widerstandes der warmen Luft hervorgeht, welches mit der Erfahrung übereinstimmt.

Das Gesagte muß wirklich vorhanden sein, mag die Beschaffenheit des auf die kalte Luft bei ihrem Eintritt in die Röhren wirkenden Druckes sein welche sie wolle. Wenn sie nun senkrecht und äußerlich erwärmt ist, so ist der Druck, der aus den beiden Luftsäulen von gleicher Höhe hervorgeht, und von denen die eine die äußere Temperatur Θ° und die andere die mittlere Temperatur t hat, die Belastung, welche direct auf die in die Esse einströmende kalte Luft einwirkt. Diese Belastung muß in Luft von Θ° geschätzt werden, und diese Geschwindigkeit ist es, die sich auf die warme Luft fortpflanzt, wie weiter oben (436) erklärt worden ist.

463. Aeltere Versuche über das Ausströmen der Luft in die Essen. Vor einer langen Reihe von Jahren hat der Verfasser eine große Reihe von Versuchen über die Ausströmung der Luft in die Essen angestellt. Er hat Röhren von Blech, von Gußeisen und von gebranntem Thon von verschiedenen Höhen und von verschiedenen Querschnitten angewendet. Der Apparat hatte die folgende Einrichtung: der Rost war sehr groß und nur zum Theil mit Holzkohlen bedeckt, um den Wider-

stand desselben fast auf 0 zu bringen; die Esse war über dem Roste angebracht. Die Temperatur der Luft in der Esse wurde durch zwei Thermometer bestimmt, von denen das eine unten, das andere oben angebracht war. Da man zu jener Zeit noch keine Anemometer hatte, so wurde die Ausflußgeschwindigkeit dadurch bestimmt, daß man durch die Aschenfallöffnung unter dem Roste einen mit brennendem Terpentinöl getränkten Docht, der an dem Ende einer eisernen Stange befestigt war, einführte und ihn bald wieder zurückzog; es entstand dadurch in dem Heerde eine kleine Rauchwolke, welche die warme Luft mit sich wegnahm. Indem man nun den Augenblick wahrnahm, in welchem man den Rauch erzeugte, und den, in welchem er an dem obersten Punkte der Esse erschien, bestimmte man die Zeit, welche er dazu brauchte, die Esse zu durchlaufen, und daraus leitete man die Ausströmungsgeschwindigkeit ab. Die Versuche wurden wiederholt, indem man die Esse an dem obern und untern Theile mehr oder weniger durch Schieber verschloß, die aus einer Blechplatte bestanden, welche mit einem kreisrunden Loche versehen war. Die Beobachtungsmethode der Geschwindigkeit war zu unvollkommen, um zu genauen Resultaten gelangen zu können; allein es haben diese Versuche zur Bestätigung mehrerer wichtiger Thatsachen gedient, von denen weiter unten geredet werden wird.

Zweites Kapitel.

Allgemeine Betrachtungen über Fabrikessen.

464. Um die in den Essen vor sich gehenden Erscheinungen genau untersuchen zu können, ist es nothwendig, einen Begriff von der allgemeinen Einrichtung der Oefen zu geben. Wie schon bemerkt bestehen die Oefen aus dem Rost, aus dem Heerd und aus der Esse.

Der Rost besteht gewöhnlich aus gußeisernen Stäben, die in einer horizontalen oder etwas geneigten Ebene liegen, durch kleine Zwischenräume von einander getrennt sind, und auf welche man das Brennmaterial legt; darunter befindet sich ein Raum, der mit der Luft in Verbindung steht und den man den Aschenkasten oder Aschenfall nennt.

Der Raum zwischen dem Rost und der Esse, in welchem ein Theil von der hervorgebrachten Wärme in den zu erhitzenden Körper übergeht, hat Formen und Dimensionen, die mit dem hervorzubringenden Nutzeffecte verschieden sind.

Die Essen sind stets senkrechte Kanäle, die aus Ziegelstein oder aus Blech bestehen und die, wie wir gesehen haben, dazu dienen, die verbrannte Luft abzuleiten und hauptsächlich die zur Verbrennung erforderliche Luft anzusaugen oder anzuziehen.

465. Das Ansaugen der äußern Luft, welches von der Temperatur der verbrannten Luft und von der Höhe der Esse herrührt, wird der Zug genannt. Der Zug einer Esse, so wie wir ihn berechnet haben, wird stets

sehr wesentlich durch den Widerstand des Rostes, durch plötzliche oder anhaltende Veränderungen des Durchschnittes und der Richtung so wie durch die Reibungen verändert.

Die Erscheinungen, die in den Oefen vor sich gehen, sind sehr verwickelt und sehr verschiedenartig, was hauptsächlich in der Beschaffenheit des Rostes seinen Grund hat. Man kann jedoch den Einfluß der verschiedenen Umstände, welche den Zug verändern, erkennen. Wir nehmen zuvörderst an, daß die Krümmungen von der Oeffnung des Aschenfalles bis zu dem obersten Punkte der Esse überall gleiche Querschnitte haben; diese Hypothese ist wenig von den gewöhnlichen Verhältnissen entfernt; man giebt selbst der freien Oeffnung des Rostes eine von dem horizontalen Querschnitt der Esse wenig verschiedene Oberfläche. Wenn man mit S den Durchschnitt des Kanals bezeichnet, welcher die Luft unter den Rost führt, mit v die Einströmungsgeschwindigkeit der kalten Luft, so wird S v das in der Sekunde angesaugte Volum kalter Luft darstellen. Bezeichnet man mit G den Widerstand des Rostes, mit C den der Krümmungen, welche der Esse vorangehen, indem diese beiden Widerstände auf den entsprechenden Druck und die Zutrittsgeschwindigkeit der kalten Luft zurückgeführt worden sind, endlich mit H und D die Höhe und den Durchmesser der Esse. Die Reibung in der Esse würde sein:

$$LK\,(a + at)^2 : D\,(1 + a\Theta)^2$$

und würde genau dieselbe sein, wenn die Esse zum Querschnitt das in den Kreis eingeschriebene Quadrat hätte. Wendet man hier die sich auf die Bewegung der zusammengepreßten Gase beziehenden Gesetze an, so erhält man, wenn man die äußere Temperatur zu 0° annimmt:

$$P - p = (G + C)\,p + \frac{KH}{D}\,(1 + at)^2\,p\,;$$

daher

$$v = \sqrt{\frac{2gHat}{(1 + at)\left[1 + G + C + \frac{KH}{D}\,(1 + at)^2\right]}}\,.$$

466. Die Untersuchung dieser Formel führt zu mehreren Folgerungen von großer praktischer Wichtigkeit.

1. Wenn die Werthe von G und C sehr bedeutend in Beziehung auf die Reibung in der Esse sind, wie es fast immer der Fall ist, so ist der Zug im Wesentlichen proportional mit der Quadratwurzel der Höhe.

2. Wenn man G und C als 0 annähme, welches nur in dem Falle vorkommen könnte, daß der Rost unter der Esse liegt, oder der Rost nähme nur einen kleinen Theil von dem Querschnitt ein, oder die Luft erlitte keine Art von Widerstand, um in die Esse zu strömen, so würde der Zug sehr wenig mit der Höhe der Esse schwanken; er würde fast unabhängig sein, wenn KH : D in Beziehung auf 1 sehr groß sein würde. Es sind dieß aber Verhältnisse, die nur sehr selten in der Praxis vorkommen, die sich aber bei den Versuchen, von denen in dem vorhergehenden Kapitel (463) geredet wurde, vereinigt finden. Die Höhe der Esse würde fast ohne Einfluß auf den Zug bleiben, da die Luft fast keinen Widerstand erleiden würde.

Nehmen wir endlich an, daß bei den Dimensionen des Apparates nichts verändert, daß aber die Temperatur t verschieden wäre. Werden G und C als konstant angesehen, die Reibung in der Esse im Allgemeinen, in Beziehung auf G + C sehr klein, so würde der Zug fast im Verhältniß der Quadratwurzel $\frac{t}{1 + at}$, d. h. in demselben Verhältniß verschieden sein, als der theoretische Zug. In der Voraussetzung, die wir gemacht haben, würde das Verhältniß von dem wirklichen Zuge zu dem theoretischen eine konstante Zahl sein, die nur von den Dimensionen des Apparates abhängen würde. Aber bei einem im Betriebe stehenden Apparate kann t nur durch Steigerung der Geschwindigkeit des Luftzuges zunehmen und diese Steigerung kann nur durch eine Verminderung des Widerstandes stattfinden, der unter der zugelassenen Annahme nur von der Beschaffenheit des Rostes oder von der Oeffnung des Registers herrühren kann. Der Zug nimmt alsdann in einem weit größern Verhältniß zu, als unter der Annahme, daß G und C konstant seien; nur giebt es zu gleicher Zeit eine gewisse Steigerung in dem Werthe von C, dem Resultat der zunehmenden Geschwindigkeit. Ebenso könnte der Werth von t sich nur durch Zunahme des Widerstandes auf dem Roste oder durch Niederlassen des Registers vermindern und die Verminderung des Zuges würde dann rascher sein, als wenn die Widerstände sich nicht veränderten.

467. Wir wollen nun jetzt untersuchen, was geschehen würde, wenn die Krümmung durch einen Scheider unterbrochen wäre. Es ist dieß ein Umstand, der bei allen Heizapparaten vorkommt, denn alle sind mit Registern zum Reguliren des Zuges oder zu seiner Unterdrückung während der Betriebsunterbrechungen versehen. Wir wollen zuvörderst annehmen, daß der Scheider, welcher die äußere Luft unter den Kanal führt, vorhanden sei.

Bezeichnet man mit d den Durchmesser der Oeffnung in dem Scheider, so haben wir (380):

$$P - p = (G + C)\,p + \frac{KH}{D}(1 + at)^2\,p + \left(\frac{D^4}{d^4} - 1\right)p;$$

daher

$$v = \sqrt{\frac{2gHat}{1 + at}}\sqrt{\frac{1}{1 + G + C + \frac{KH}{D}(1 + at)^2 + \frac{D^4}{d^4} - 1}}$$

indem man den Verlust des Druckes am Eingange der Oeffnung und den beim Ausgange gewonnenen Druck, unberücksichtigt läßt; der eine oder der andere sind stets sehr klein in Beziehung auf den Nenner der zweiten Wurzel des Werthes von v.

Es folgt aus dieser Formel, daß der Einfluß des Scheiders um so geringer, je bedeutender der gesammte Widerstand in den Krümmungen ist. Bei den großen Dampfgeneratoren ist die wirkliche Einströmungsgeschwindigkeit unter einem Fünftel von der theoretischen. Nimmt man sie gleich diesem Bruch an, so erhält man fast

$$v = \sqrt{\frac{2gHat}{1 + at}}\sqrt{\frac{1}{25 + \frac{D^4}{d^4} - 1}}.$$

Wenn man annimmt, daß das Verhältniß $\frac{D^2}{d^2}$ der Essendurchschnitte und der Oeffnungen nach und nach wird:

2 4 6 8 10 20 40 60 80 100

so werden die Werthe des zweiten Wurzelzeichens

0,189 0,158 0,130 0,1066 0,09 0,0,48 0,025 0,0166 0,0125 0,01

Dem Werthe des Wurzelzeichens ohne Scheider ist gleich 0,20 und durch Einfluß desselben wird er reduzirt in dem Verhältniß von

0,945 0,75 0,64 0,53 0,45 0,24 0,12 0,083 0,062 0,059

So wie man aus der Ansicht der Formel leicht ersehen kann, vermindern die Scheider den Zug in einem weit geringern Verhältniß als das der Querschnitte; ein Scheider, der den Querschnitt auf ein Zehntel reduzirt, vermindert den Zug nur auf die Hälfte. Dieser geringe Einfluß der Scheider rührt daher, daß sie zu gleicher Zeit die Geschwindigkeit und auch den Widerstand in dem übrigen Kanal vermindern.

468. Der Scheider vermindert die Geschwindigkeit des Zuges in einem geringern Verhältniß, als das des Querschnittes zu dem des Kanals ist; es folgt daraus, daß die Geschwindigkeit der Luft in der Oeffnung des Scheiders in dem Maße zunehmen muß, als sich die Oberfläche vermindert. In dem allgemeinen Falle ist die Geschwindigkeit der Luft in dem Scheider

$$v' = \sqrt{\frac{2gHat}{1+at}} \cdot \frac{D^2}{d^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{1+G+C+\frac{KH}{D}(1+at)^2+\frac{D^4}{d^4}-1}}$$

und in dem besondern Falle, den wir untersucht haben, hat man

$$v' = \sqrt{\frac{2gHat}{1+at}} \sqrt{\frac{\frac{D^4}{d^4}}{25+\frac{D^4}{d^4}-1}}.$$

Nimmt man für das Verhältniß der Querschnitte zwischen D^2 und d^2 dieselben Zahlen wie vorher, so findet man für die Werthe der zweiten Wurzel

0,378 0,632 0,77 0,85 0,90 0,97 0,992 0,996 0,998 0,999

und da der Werth dieser Wurzel ohne den Scheider gleich 0,20 ist, so sind die Geschwindigkeiten in dem Scheider auf die Geschwindigkeiten in der Krümmung zurückgeführt:

1,89 3,16 3,87 4,26 4,49 4,85 4,96 4,98 4,99 4,99

Demnach nähert sich dieses Verhältniß stets mehr 5 in dem Maße als sich der Durchmesser vermindert, weil die wirkliche Geschwindigkeit ohne den Scheider 0,2 = 1 : 5 der von dem Druck herrührenden Geschwindigkeit ist und weil der die Geschwindigkeit in dem Kanale vermindernde Scheider die Reibungen vermindert. Es ist ganz klar, daß, wenn die Geschwindigkeit des Zuges ein Bruchtheil von 1 : m der Geschwindigkeit V, die von dem Drucke herrührt, wäre, das fragliche Verhältniß sich stets um so mehr m nähern würde, als sich der Durchmesser des Scheiders verminderte.

469. Wenn in dem Kanal, der die Luft zu dem Aschenfall führt, mehrere Scheider weit genug von einander angebracht wären, so daß der Luftstrom, nachdem er durch einen jeden gegangen ist, die Röhren ausfüllt, in welcher sie sich befinden, ehe er zu den folgenden gelangt, die Geschwindigkeit werden würde

$$v = \sqrt{\frac{2gHat}{1+at}} \sqrt{\frac{1}{1+G+C+\frac{KH}{D}(1+at)^2+m\left(\frac{D^4}{d^4}-1\right)}}.$$

Und wenn $D^4 : d^4$ sehr groß in Beziehung auf die vorhergehenden Ausdrücke wäre, so würde für denselben Werth von $D^2 : d^2$ der Werth von v sehr merklich im umgekehrten Verhältniß zu der Quadratwurzel von m verschieden sein.

470. Wir haben angenommen, daß die Scheider in dem kalten Luftkanal vor dem Roste angebracht seien; wir wollen aber jetzt annehmen, daß sie sich in dem Theile der Krümmung befinden, welcher von der warmen Luft durchströmt wird. Da sich die Geschwindigkeiten umgekehrt zu den Dichtigkeiten verhalten, so würden wir im Allgemeinen haben:

$$P - p = (G+C)p + \frac{KH}{D}(1+at)^2\, p + m\left(\frac{D^4}{d^4}-1\right)(1+at)^2\, p;$$

daher

$$v = \sqrt{\frac{2gHat}{1+at}} \sqrt{\frac{1}{1+G+C+\frac{KH}{D}(1+at)^2+m\left(\frac{D^4}{d^4}-1\right)(1+at)^2}}.$$

Es vermindern demnach die in dem Strom der warmen Luft angebrachten Scheider den Zug mehr, als wenn sie vor dem Aschenfall angebracht sind, weil die Geschwindigkeit der warmen Luft größer, als die der kalten ist.

471. Die von Combes angestellten Versuche bestätigen die Folgerungen, die wir aus der allgemeinen Ausströmungsformel gemacht haben. Man hat erkannt, daß, wenn die Oeffnung, durch welche die Luft in den Aschenfall eines Kesselofens durch eine Platte strömt, mit immer kleiner werdenden Oeffnungen versehen ist, die Geschwindigkeit der durch die Oeffnung strömenden Luft, mittels eines Anemometers gemessen, stets zunimmt. Die Details dieses Versuches sind die folgenden:

Die Esse war 20 Meter hoch, ihr unterer Querschnitt hatte 0,383 Quadratmeter und ihr oberer 0,196 Quadratmeter; die Rostoberfläche betrug 0,6525 Quadratmeter; die Summe der freien Zwischenräume zwischen den Roststäben 0,168 Quadratmeter. Die Oeffnung des Aschenfalles wurde mit einer Blechtafel verschlossen, die mit vier gleichen quadratischen Oeffnungen, jede von 0,167 Meter Seite und von 0,028 Quadratmeter Oberfläche versehen war; zusammen hatten diese Oeffnungen eine gleiche Oberfläche, wie die Zwischenräume zwischen den Roststäben.

Zuvörderst hat man alle Oeffnungen in der Blechplatte frei gelassen und man hat mit Hülfe des Anemometers unmittelbar nach dem Schüren gemessen und dann, nachdem das Brennmaterial mit einer Brechstange gelockert worden war. Es sind zwei Versuche hinter einander gemacht und

haben für die Geschwindigkeiten gegeben 0,5275 Meter; 1,68 Meter; 0,86 Meter; 1,15 Meter; im Durchschnitt 1,17 Meter.

Darauf hat man zwei von den Oeffnungen geschlossen, und unter denselben Umständen wie vorher, waren die beobachteten Geschwindigkeiten 1,607 Meter; 1,99 Meter; 1,89 Meter; 2,05 Meter; im Durchschnitt 1,88 Meter.

Endlich hat man vier Oeffnungen geschlossen und unter denselben Umständen waren die verschiedenen Geschwindigkeiten in den freien Oeffnungen 3,51 Meter; 4,05 Meter; 2,68 Meter; 3,46 Meter; im Durchschnitt 3,42 Meter.

Bei diesen drei Versuchreihen betrugen die Einströmungsoberflächen der Luft 0,168 Quadratmeter. 0,65 = 0,1092 Q.-M.; 0,0728 Q.-M. und 0,0364 Q.-M.; und die mittlern Geschwindigkeiten 1,17 M.; 1,88 M. und 3,42 M. Es nehmen daher die Einströmungsgeschwindigkeiten sehr rasch in dem Maß zu, als sich die Oeffnungsquerschnitte vermindern. Für die Oeffnungen in den Verhältnissen der Zahlen 3, 2 und 1 haben sich die Geschwindigkeiten nach den Zahlen 1,26; 1,65; 3 gesteigert.

472. Seitendruck in den Essen. — Wir wollen eine Esse betrachten, die auf einen Ofen von irgend welcher Form folgt, und wollen annehmen, daß man an irgend einem Punkt der Höhe eine Oeffnung angebracht habe; es ist nun klar, daß die äußere Luft mit einer um so größern Geschwindigkeit durch dieselbe einströmt, je näher die Oeffnung der Sohle angebracht sein wird. Am obern Theil ist diese Geschwindigkeit Null. Dieses Ansaugen der äußern Luft würde ebenfalls stattfinden, wenn die Oeffnung an irgend einem Punkt der Oberfläche angebracht worden wäre. Man muß sich daher bei allen Construktionen gegen Ansaugen der äußern Luft durch Spalten in dem Mauerwerk zu sichern suchen, weil sie stets einen Verlust am Zuge veranlassen, und oft den Nutzeffekt des Brennmaterials vermindern.

473. Es folgt aus dem Gesagten nothwendig, daß im Innern des Ofens und der Esse ein negativer Druck, d. h. ein solcher stattfindet, der geringer als der atmosphärische ist, eine Druckverminderung, die vom Aschenfall bis zum untern Theil der Esse zunimmt, und alsdann bis zu dem obersten Punkt der Esse sich vermindert, wo sie Null ist.

474. Wirkungen, die durch das Zusammentreffen von Strömungen hervorgebracht werden. — Wenn mehre Röhren in ein und denselben Kanal ausmünden, so verlängern sich die Luftströme über die Oeffnungen hinaus und unter gewissen Umständen können sie durch ihre gegenseitige Wirkung die Ausströmungsgeschwindigkeiten der Luft in der Röhre verändern. Wenn z. B. zwei Röhren durch zwei einander gegenüberliegende Oeffnungen in einer und derselben senkrechten Röhre ausmünden, so würde der Einfluß der Ströme 0 sein, wenn beide Ströme gleiche Geschwindigkeit hätten, weil der Vorgang derselbe sein würde, als wenn die Ströme gegen eine zwischen beide angebrachte Platte stießen; wären aber die Geschwindigkeiten ungleich, so würde der Strom mit der größten Geschwindigkeit die der andern vermindern, und würde die Oeffnung, durch welche er ausströmt, mehr oder weniger verschließen. Eine große Anzahl von Erscheinungen lassen an dieser Thatsache nicht zweifeln; übrigens müssen die Ströme fast ebenso auf einander wirken wie Wasserströme, und man weiß aus den Versuchen von Savart, daß wenn zwei Strahlen von glei-

chem Querschnitt in entgegengesetzter Richtung wirken, und wenn eine von ihnen eine etwas größere Geschwindigkeit als die andere hat, diese letztere bis zu der Oeffnung des Gefäßes zurückgedrängt wird, und das Ausströmen vollständig aufhört. Man kann die aus diesen Stößen hervorgehenden Wirkungen dadurch vermeiden, daß man in der Röhre eine Scheide **P** anbringt, wie Fig. 63 angiebt.

475. Erscheinungen derselben Art zeigen sich, wenn, wie in Fig. 64, zwei Röhren senkrecht auf einander stehen, und sie würden sich außerdem durch die Wirkungen des Seitendrucks noch verwickelter machen. Man kann aber diese Wirkungen des Scheiders **P** vollständig evermeiden.

Wenn die Röhre, wie in Fig. 65, wieder weitr würde, so wü r de die Zusammenziehung derselben vor der Oeffnung der Seitenröhre die Wirkung eines Scheiders haben; der Einfluß des Stoßes der Ströme könnte unberücksichtigt bleiben, allein die aus der Druckverminderung in Folge der Erweiterung der Röhre hervorgehende, könnte sehr bedeutend sein.

476. In dem Fall, in welchem ein warmer Luftstrom horizontal in eine senkrechte Zugesse ausströmt, könnte es vorkommen, daß der Zug fast gänzlich aufgehoben würde, obgleich der Querschnitt der Esse größer, als der des warmen Luftstroms, wenn die Geschwindigkeit dieses letztern sehr groß wäre, weil er alsdann die Esse wie ein Ventil verschließen würde. Es ist dieß eine von dem Verfasser wiederholt beobachtete Thatsache, ganz besonders bei einer Esse, die er selbst in einer Sodafabrik hatte aufführen lassen, und die einen Theil von dem Condensationsapparat bildete. Die Esse hatte 13,30 M. Höhe und fast 0,75 Q.=M. Querschnitt; der Rauchkanal eines Sodaofens strömte horizontal hinein, wie Fig. 66 näher zeigt. Nachdem man den Sodaofen angefeuert hatte, wirkte sofort der Zug; er nahm einige Zeit zu, verminderte sich dann und war alsdann, da der Ofen seine Arbeit begann, gänzlich Null. Der Verfasser erkannte sehr bald die Ursache dieser eigenthümlichen Erscheinung und verbesserte den Uebelstand, und durch Errichtung eines senkrechten Scheiders **A** wurde dem Uebelstande abgeholfen; derselbe wurde in der Mitte der Esse derart aufgeführt, daß die warme Luft nicht eher mit den Gasen der Esse in Berührung kamen, als nachdem sie dieselbe senkrechte Richtung erlangt hatte. Man muß daher die größte Sorgfalt bei allen Zugessen, welche die Luftströme senkrecht oder geneigt aufnehmen, darauf verwenden, daß sie nach der Achse der Esse sich aufwärts bewegen, ehe sie mit einander in Berührung kommen.

477. Wärme, die durch die Esse verloren geht. — Die durch die Esse verloren gehende Wärme ist im Allgemeinen sehr bedeutend, weil die verbrannte Luft fast stets einer sehr hohen Temperatur überlassen ist, stets höher als diejenige, die der erwärmte Körper erlangt. Diese Temperatur wechselt mit der der ausströmenden Luft mit dem Luftvolum, welches zu dem Rost strömt und mit dem Gewicht des Wassers, welches das Brennmaterial umschließt, oder welches es durch seine Verbrennung hervorbringt, weil die Gase fast stets mit einer zu hohen Temperatur entweichen, als daß der Wasserdampf sich verdichten könnte. Man kann jedoch diesen Verlust mit hinreichender Annäherung bestimmen, indem man die Temperatur der verbrannten Luft in der Esse mit derjenigen vergleicht, die sie haben würde, wenn die ganze producirte Wärme zu ihrer Erwärmung angewendet worden wäre; man kann bei dieser Berechnung annehmen, daß die verbrannten Gase die Wärmecapacität der Luft haben.

Bei den Dampfgeneratoren z. B. strömt die verbrannte Luft bei fast 300° aus, und man verbraucht im Durchschnitt 18 Q.-M. Luft auf das Kilogrm. Steinkohlen oder 18•1,3 = 23,4 Kilogr. Nimmt man nun 0,24 als Wärmecapacität für die producirten Gase an, so wird die Temperatur, auf welche diese Gase durch 8000 Wärmeeinheiten, die aus der Verbrennung hervorgehen, gebracht werden würden, gleich sein 8000: (23,4 • 0,24) = 1425 °. Es ist daher der Verlust gleich 300: 1425 = 0,21. Dieser Verlust würde ganz offenbar das Doppelte oder Dreifache betragen, wenn man zwei- bis dreimal so viel Luft als angenommen anwenden würde. Dagegen würde er sich auf 0,1 vermindern, wenn man nur das zur Verbrennung durchaus nothwendige Luftvolum anwenden wollte. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen kann man den Verlust, wegen der entstehenden Wasserdämpfe auf nicht weniger als 0,25 annehmen.

Aus den beim Hüttenwesen und zur Gasfabrikation angewendeten Oefen entweicht die verbrannte Luft mit einer weit höhern Temperatur, da die erhitzten Körper eine weit höhere Temperatur haben, und die Wärmeverluste sind daher viel bedeutender. Sie betragen oft 0,80 bis 0,90, selbst wenn die der Verbrennung entgehende Luftmenge sehr gering ist. Es kann aber die verlorne Wärme im Allgemeinen benutzt werden, wenigstens zum großen Theil. Die Benutzung der verlorenen Wärme ist eine Frage von der höchsten Wichtigkeit für alle Fabriken, weil der Brennmaterialverbrauch fast immer als ein sehr wesentlicher Punkt in die Produktionskosten eingeht; wir werden weiter unten auf diese Frage zurückkommen.

478. Vorrichtungen, welche die Benutzung aller auf dem Rost erzeugten Wärme gestatten. — Bei den allgemein angewendeten Apparaten befindet sich die Esse hinter dem Ofen, und es folgt daraus, wie wir schon gesehen haben, ein Wärmeverlust, der durch gewisse Vorrichtungen vermieden werden kann.

Denken wir uns, daß sich über, oder in Folge eines gehörig umschlossenen Rostes eine Esse von 3 oder 4 Meter Höhe erhebt, deren Wände dick sind und eine nur geringe Leitungsfähigkeit besitzen; die verbrannte Luft wird in dieser Esse eine sehr hohe Temperatur haben und eine weit größere steigende Geschwindigkeit erlangen, als zu der Verbrennung erforderlich ist. Wir wollen jetzt ferner annehmen, daß über dieser Esse, in ihrer Verlängerung oder seitwärts, der Kessel oder irgend ein zu erhitzender Körper vorhanden ist; man könnte nun die Windungen des Rauchs derart verlängern, um ihn vollständig oder fast vollständig abzukühlen, und er könnte alsdann, nachdem er die Heizoberflächen verlassen hat, unmittelbar in die Luft entweichen, oder in eine Esse einströmen, die keinen andern Zweck hätte, als ihn in einer zweckmäßigen Höhe in die Atmosphäre ausströmen zu lassen. Eine ähnliche Einrichtung findet man bei den Oefen zum Schmelzen des Spiegelglases; die Zugesse hat nur die Entfernung des Rostes bis zum Gewölbeschluß als Höhe, und die verbrannte Luft könnte sich vollständig abkühlen, wenn das Gewölbe eine hinreichende Länge hätte.

479. Auf den ersten Blick scheint dieses Verfahren nur dann anwendbar, wenn der zu erwärmende Körper nur auf eine Temperatur erhoben werden soll, welcher die gewöhnliche nur wenig übersteigt, weil die verbrannte Luft nur mit einer Temperatur aufgegeben werden kann, die von der des zu erwärmenden Körpers nicht weit entfernt ist. Wenn man aber dem zu erwärmenden Körper eine Bewegung giebt, welche der der erwärm-

ten Luft entgegen ist, so ist es ganz klar, daß man in fast allen Fällen die gesammte Wärme der Luft benutzen und sie bis zu der Temperatur der Atmosphäre erkalten könnte.

480. Dieses Verfahren, welches, wie man sieht, darin besteht, die Esse vor dem Heizraum anzubringen, hat einen Nachtheil, den wir nicht verhehlen können. Die Heizoberflächen müssen weit größer sein, als bei den gewöhnlichen Vorrichtungen, weil diese Oberflächen nicht direkt durch die Ausstrahlung des Brennmaterials erwärmt werden. Ohnerachtet dieses Nachtheils aber giebt es, wie wir später sehen werden, Fälle, in denen diese Methode mit Vortheil angewendet werden kann.

481. Man könnte auch die Apparate so einrichten, um den Zug während der Feuerung hervorzubringen; die Vorrichtung würde darin bestehen, die zu erwärmenden Körper in die Esse selbst zu bringen. Wenn die Cirkulationskanäle sehr eng und die Heizoberflächen sehr ausgedehnt sind, so wird die verbrannte Luft zu dem obersten Punkt der Esse mit einer Temperatur gelangen, die wenig höher als die des erwärmten Körpers, obgleich der Zug sehr bedeutend ist, weil die aufsteigende Geschwindigkeit von der mittlern Temperatur von der verbrannten Luft in den Cirkulationskanälen abhängt und die Temperatur am untern Theile die des Heerdes sein wird. Solche Einrichtungen findet man bei den Kalk- und bei den Gypsöfen.

Drittes Kapitel.

Die Dimensionen der Fabrikessen.

482. Die Wirkung einer Esse besteht, wie schon bemerkt, darin, das zu der Verbrennung erforderliche Luftvolum nach dem Rost anzusaugen. Das in der Stunde zu verbrennende Brennmaterialgewicht ist stets ein gegebenes; die Höhe der Esse wird im Allgemeinen durch besondere Umstände bestimmt, allein der Querschnitt hängt von dem Luftvolum, welches zur Verbrennung eines jeden Brennmaterialkilogramms, von der mittlern Temperatur, welche die Luft in der Esse bewahren wird, von den Reibungen herrührenden Druckverlusten, von den Querschnitts- und Richtungsveränderungen, und von dem Widerstande des Rostes ab. Die bei dem Zug eines Ofens veranlaßten Erscheinungen sind so verwickelt, daß man nicht hoffen darf, durch einfache theoretische Betrachtungen zu genauen Berechnungen zu gelangen, und für alle Fälle den Querschnitt zu erlangen, den man der Esse geben muß, um eine bestimmte Wirkung hervorzubringen. Diese Berechnungen werden um so weniger genau sein können, da man die Temperatur der Luft in der Esse, die mittlere Temperatur der Luft, die den zu erheizenden Körper umspült und den Widerstand des Rostes nicht vorher kennt, und da diese drei Elemente, die man nothwendig kennen muß, ehe man Berechnungen anstellen will, nach der Beschaffenheit des Brenn-

materials auf dem Rost und mit seiner Dicke auf demselben, verschieden sind. Man muß daher für jede Art von Oefen directe Versuche anstellen, um den, den Essen zu gebenden zweckmäßigen Durchschnitt kennen zu lernen. Jedoch ist es immer zweckmäßig, den Essen einen größern Querschnitt zu geben, indem dadurch ein größerer Zug entsteht, der in gewissen Fällen nöthig sein kann, zumal da man ihn stets durch ein Register zu reguliren im Stande ist.

483. Für feststehende Dampfgeneratoren von gewöhnlicher Einrichtung hat der Verfasser mit Hülfe vieler Beobachtungen und einiger Versuche erkannt, daß bei Essen von 10, 20, 30 Meter, welche Luft von 300° enthalten, mit Rosten, deren freier Theil gleich dem Querschnitt der Esse ist, und auf den man auf das Quadratdecimeter und in der Stunde 1 Kilogr. Steinkohle verbrennt, Verhältnisse, welche man gewöhnlich antrifft, die Eintrittsgeschwindigkeit der Luft fast 0,18 v; 0,17 v; 0,16 v ist, wobei v die theoretische Geschwindigkeit bezeichnet.

Für Höhen von 10, 20, 30 Meter, wie wir sie angenommen haben, und bei einer mittlern Temperatur von 100° in der Esse sind die Einströmungsgeschwindigkeiten der kalten Luft abgeleitet aus der Formel:

$$v = \sqrt{\frac{2gHat}{1+at}},$$

sind

10,13 Meter 14,33 Meter 17,55 Meter

und folglich sind die wirklichen Einströmungsgeschwindigkeiten

0,18·10,13M.=1,82M. 0,17·14,33M.=2,44M. 0,16·17,5M.=2,80M.

Da die in der Stunde und auf das Quadratdecimeter Querschnitt angesaugten Luftvolumina v · 0,01 · 3600 sind, so werden sie für die drei Höhen sein:

65,51 Kub. M. 87,84 Kub. M. 100,8 Kub. M.

und indem man annimmt, daß nur die Hälfte der Luft in Kohlensäure verwandelt und daß folglich zur durchschnittlichen Verbrennung von 1 Kilogramm Steinkohlen gleich 18 Kubikmeter sei, das Gewicht der auf das Quadratcentimeter Querschnitt und in der Stunde verbrannten Steinkohlen dargestellt werde durch die vorhergehenden Zahlen dividirt durch 18, d. h. gleich

3,42 Kilogr. 4,71 Kilogr. 5,50 Kilogr.

Diese Zahlen unterscheiden sich wenig von den von den erfahrensten Ingenieuren angenommenen; bei ihrer Anwendung kann man überzeugt sein, daß der Zugüberschuß hinlänglich ist, daß aber auch daraus, wie schon bemerkt, kein Nachtheil entsteht.

Das Verhältniß des Essenquerschnittes zu dem Brennmaterialverbrauch setzt nothwendig constante Widerstände voraus, eine Hypothese, die man übrigens recht gut annehmen kann; denn die von dem Rost und den Richtungsveränderungen des Stromes herrührenden Widerstände erleiden nur geringe Veränderungen, und die von der Reibung herrührenden haben im Allgemeinen nur einen geringen Einfluß auf den gesammten Widerstand.

484. Wenn man nach dem Vorhergehenden die gesammten Widerstände, welche die Luft in den Krümmungen erleidet, mit R bezeichnet, so erhält man in den drei betrachteten Fällen:

$$v = 0{,}18\,V = V\sqrt{\frac{1}{1+R}}\,;\; v = 0{,}17\,V = V\sqrt{\frac{1}{1+R}}\,;$$

$$v = 0{,}16\,V = V\sqrt{\frac{1}{1+R}}\,;$$

und es sind die Werthe von R 29,98; 33,49; 38,29. Diese Zahlen repräsentiren die Summe der von der Reibung, von den Richtungsverschiedenheiten und von dem Rost herrührenden Widerstände.

Vergleicht man die Dimensionen einer großen Anzahl von Generatoren, so findet man, daß für die drei angenommenen Essenhöhen die Werthe von KL : D im Wesentlichen gleich sind 1,5; 2,37; 3,57. Da es nun gewöhnlich acht Richtungsveränderungen nach dem rechten Winkel giebt und unter der Annahme, daß diese Veränderungen ununterbrochen stattfinden, werden die entsprechenden Verluste durch 4 (360) bezeichnet werden; und wenn man die Geschwindigkeiten in der Krümmung als doppelt von der Einströmungsgeschwindigkeit ansieht, welches sich von der Wirklichkeit nicht merklich entfernt, so wird die Summe dieser beiden Arten des Widerstandes sein 5,5 • 4; 6,37 • 4; 7,57 • 4; oder 22,0; 25,48; 30,28. Der Widerstand des Heerdes würde alsdann mit 8 ausgedrückt werden. Es dürfen jedoch diese Berechnungen nur als sehr annähernd und als hinreichend angesehen werden, um eine Idee der verschiedenen Arten von Widerständen, die sie hervorbringen, zu geben.

485. Essendurchschnitte der Generatoren für verschiedene Brennmaterialien. — Wir wollen zwei Generatoren von gleicher Form und gleichen Dimensionen annehmen, auf deren Rosten verschiedene Brennmaterialien verbrannt werden, die nur Kohlenstoff und feste Substanzen enthalten. Nun ist es klar, daß, wenn einem jeden von ihnen dieselbe Luftmenge der Verbrennung entging, die Erscheinungen im Wesentlichen dieselben sein würden. Die Verschiedenheiten würden nur aus den ungleichen Mengen der strahlenden Wärme und aus den ungleichen Widerständen des Rostes entstehen; allein es würden diese Verschiedenheiten nur eine geringe Wichtigkeit und keinen Einfluß auf das Gewicht des auf das Quadratdecimeter der Esse verbrannten Kohlenstoffes haben. Wenn aber eines der Brennmaterialien Wasser enthält oder dasselbe erzeugt, so können die Essenquerschnitte für gleiche Brennmaterialgewichte nicht dieselben sein. Man kann in diesem Falle als eine hinreichende Annäherung für die Praxis annehmen, daß die Essenquerschnitte im Verhältniß zu den Gasmengen stehen, die sie bei der Verbrennung einer und derselben Gewichtsmenge verschiedener Brennmaterialien ausströmen lassen müssen. Wenn man alsdann mit S den Querschnitt der Esse bezeichnet, die zur Verbrennung eines Gewichtes P von Steinkohlen erforderlich ist, mit V und V′ die Gasvolumina, welche sich in Folge der Verbrennung eines Kilogramms der beiden Brennmaterialien entwickeln, so wird man $S' = \frac{S \cdot V'}{V}$ haben. Nach der Tabelle (207) werden wir die nachstehenden Resultate erlangen.

Trockenes Holz . . . . . . $S' = S \cdot \frac{10,08}{17,28} = 0,59 \cdot S$

Holz mit 0,20 Wasser . . . $S' = S \cdot \frac{7,42}{17,28} = 0,43 \cdot S$

Trockener Torf mit 0,05 Asche $S' = S \cdot \frac{12,01}{17,28} = 0,69 \cdot S$

Torf mit 0,20 Wasser . . . $S' = S \cdot \frac{8,78}{17,28} = 0,51 \cdot S$

Holzkohlen . . . . $S' = S \cdot \frac{15,28}{17,28} = 0,88 \cdot S$

Cokes mit 0,02 Asche . . . $S' = S \cdot \frac{17,40}{17,28} = 1,00 \cdot S$

Cokes mit 0,15 Asche . . . $S' = S \cdot \frac{15,10}{17,28} = 0,87 \cdot S$

Diese Zahlen setzen nothwendig voraus, daß die Widerstände der Roste für alle Brennmaterialien wesentlich gleich sind; dies ist aber nicht gänzlich der Fall, denn die sämmtlichen übrigen Brennmaterialien verstopfen den Rost bei Weitem nicht so, wie die meisten Steinkohlen. Wir werden weiter unten sehen, daß man für Cokes, Holz, Holzkohlen und Torf weit kleinere Rostoberflächen anwendet, als für Steinkohlen, so daß die Widerstände der Roste nicht weit von einander verschieden sind. Es wird auch ferner angenommen, daß die übrigen Widerstände nicht mit dem Querschnitt wechseln, denn nur unter dieser Bedingung können die ausgeströmten Luftmengen mit den Querschnitten proportional sein; wenn aber die Formen der Generatoren gleich sind, so haben sie auch eine gleiche Anzahl von Richtungsveränderungen, und es bewirken die Querschnittsunterschiede nur einen geringen Einfluß auf den gesammten Widerstand. Es müssen jedoch, wie schon bemerkt, diese Zahlen als Annäherungen angesehen werden, die stets Querschnitte mit überschüssigem Zug bezeichnen.

486. Wir müssen nun noch die Fälle annehmen, wenn die Esse allein oder die ganze Krümmung, welche die Luft zu durchströmen hat, einen größern Querschnitt haben, als der aus den vorhergehenden Bestimmungen erfolgende.

Nehmen wir zuvörderst an, daß man der Esse allein einen größern Querschnitt ertheilt; der Zug muß wegen der Ausdehnung, welche die warme Luft, indem sie hineintritt, erleidet, und wegen der Verminderung der Reibung zunehmen; allein im Allgemeinen wird diese Zunahme des Zuges unbedeutend sein, und wenn die Esse zu weit ist, so wird die Ausströmungsgeschwindigkeit der warmen Luft zu sehr vermindert sein, so daß der Zug durch den Einfluß der Winde verändert werden kann. Wäre der Essenquerschnitt zu groß, so könnte es selbst vorkommen, daß die warmen Luftströme ihn nicht vollständig ausfüllen und daß in der Esse Luftströmungen von oben nach unten entständen, wodurch der Zug sehr bedeutend vermindert werden würde. In diesem Falle müßte man den Querschnitt durch ein an dem obern Theile der Esse angebrachtes Register vermindern.

Wenn man dagegen den Querschnitt der Esse dergestalt verringerte, daß er im Verhältniß zu den Canälen zu gering wäre, so würde ein Druckverlust stattfinden, der nur durch eine Temperaturerhöhung der warmen

Luft ausgeglichen werden könnte; diese Ausgleichung könnte selbst nur schwierig und innerhalb gewisser Grenzen stattfinden.

487. Wenn man den Canälen, dem Roste und der Esse einen weit größern Querschnitt als den angegebenen ertheilte, so ist es klar, daß für einen constanten Brennmaterialverbrauch, der durch einen mehr oder minder bedeutenden Verschluß des Registers veranlaßt worden wäre, die Widerstände sich in dem Maße schwächen würden, als der Querschnitt zunähme, und man würde endlich für die Einströmungs- und Ausströmungsgeschwindigkeiten der Gase die theoretischen Geschwindigkeiten erlangen. Es würde zu dem Ende kein sehr großer Durchmesser des Canals erforderlich sein; denn wenn er nur dem fünffachen berechneten Durchmesser gleich wäre, so würden die Geschwindigkeiten 25 mal kleiner sein, und alle Arten von Widerständen 25 • 25 = 625 mal kleiner. Es würde dies folglich ein unfehlbares Mittel sein, alle Arten von Widerständen zu unterdrücken; um aber alsdann den Zug dem Einflusse der Winde zu entziehen, müßte am Gipfel der Esse ein Register angebracht werden. Diese Einrichtung würde die Anlagekosten und die Wärmeverluste durch die Oberfläche des Ofens und der Esse sehr erhöhen; auch ist sie niemals angewendet worden.

488. Verschiedene zur Bestimmung des Essenquerschnittes vorgeschlagene Methoden. — Montgolfier war der Erste, der sich mit der Bestimmung des Querschnittes einer Esse beschäftigt hat, wobei er von ihrer Höhe, von der zur Verbrennung erforderlichen Luftmenge und von der Temperatur der verbrannten Luft ausging; allein er hatte weder die Reibung der Luft an den Wänden des Canals, noch den Widerstand des Rostes berücksichtigt. Der auf diese Weise bestimmte Querschnitt war demnach viel zu klein. Clément befolgte dasselbe Verfahren, allein er nahm nur ein Fünftel von der berechneten Geschwindigkeit, was auf einen zu großen Querschnitt führte. Der Engländer Tredgold theilt in seinem großen Dampfmaschinenwerke eine verwickelte, auf eigenthümliche Annahmen begründete Methode mit; er geht von der theoretischen Geschwindigkeit aus, indem er annimmt, daß für die Dampfkessel die Temperatur des Rauches gleich der des Dampfes sei und er multiplicirt die erhaltene Geschwindigkeit mit 0,65, welche den Ausströmungen der Luft durch Oeffnungen in einer dünnen Wand zukommt.

Nach Darcet müssen die Essen eine Höhe von 10 Meter und einen solchen Durchschnitt haben, daß jedes Quadratcentimeter einem stündlichen Kohlenverbrauch von 3 bis 3,3 Kilogr. entspricht; die Rostoberfläche soll dreimal größer als der Essenquerschnitt sein. Diese Resultate entfernen sich wenig von den von dem Verfasser angegebenen.

489. Einfluß der Abkühlung der äußeren Oberflächen der Essen auf den Zug. — Man könnte denken, daß bei einzeln stehenden Essen, die von Luft mit einer Temperatur von etwa 300° durchströmt würden, da die von der Oberfläche entwickelte Wärme bedeutend ist, die Luft eine große Abkühlung erleide, welche den Zug vermindert. Dies ist aber nicht der Fall: die von der warmen Luft mit fortgerissene Wärme ist stets, im Verhältniß zu der durch die Essenoberfläche verlorene, sehr groß und die Abkühlung der Luft hat keine merkliche Wirkung. Wir wollen z. B. eine Esse von 20 Meter Höhe, 0,5 Meter Durchmesser und 0,196 Quadratmeter Querschnitt annehmen, welche Luft von 300° enthält. Die

theoretische Geschwindigkeit des Einströmens von kalter Luft durch einen Canal mit dem Querschnitt der Esse wird 11,93 Meter sein und die wirkliche Geschwindigkeit 11,93 • 0,165 = 1,968, das in der Stunde angesaugte Luftvolum 1,968 • 3600 = 7084 Quadratmeter, deren Gewicht gleich ist 7084 • 1,3 Kilogr. = 9209 Kilogr., und die in der Stunde weggeführte Wärmemenge fast $\frac{9209 \cdot 300}{4} = 553175$ Wärmeeinheiten. Nun ist aber nach der Abkühlungsformel, wie wir weiter unten sehen werden, die auf das Quadratmeter und in der Stunde unter diesen Bedingungen entwickelte Wärme 1587; für die 20 Meter wird daher der Wärmeverlust sein: 1587 • 20 = 31740. Das Verhältniß von 31740 zu 553175 ist 0,057. Es beträgt demnach die durch die Esse verloren gegangene Wärme noch nicht 6 Hunderttheile der von der Luft mit sich geführten Wärme. Es wird daher die Temperatur der Luft kaum um 0,06 vermindert werden, d. h. sie wird höher als 282° bleiben, so daß der Zug nicht wesentlich verändert werden kann.

490. Für eine blecherne Esse von gleichen Dimensionen würde die Menge der entwickelten Wärme nach den Abkühlungsformeln 8037 auf das laufende Meter betragen und daher 160740 auf die 20 Meter. Das Verhältniß der verlorenen zu der durch die Luft mit weggeführten Wärme würde alsdann sein 160740 zu 553175 = 0,29. Es würde sich demnach die Temperatur um 87° vermindern und die warme Luft würde mit einer Temperatur von etwa 213° entweichen, welches (nach 443) einer Verminderung von fast 0,1 des Zuges entspricht.

491. Berechnung des Essendurchmessers in dem allgemeinen Falle. — Alles über die Querschnitte der Essen, welche die Verbrennung irgend eines gegebenen Brennmaterials bewirken sollen, Gesagte läßt sich nur auf Essen von feststehenden Generatoren unter den gewöhnlichen Bedingungen anwenden; man versteht darunter, daß die Temperatur der Luft etwa 300° beträgt, und daß man etwa in der Stunde und auf das Quadratdecimeter Rostoberfläche 1 Kilogr. Steinkohlen verbrennt. Sind aber die Umstände verschieden, so sind die angegebenen Essenquerschnitte nicht mehr zweckmäßig. Da es sehr wichtig ist, sie wenigstens mit einer gewissen Annäherung in allen vorkommenden Fällen berechnen zu können, so hat der Verfasser eine einfache Methode gesucht, welche zu dieser Bestimmung führen kann.

492. Wir wollen zuvörderst annehmen, daß der Steinkohlenverbrauch auf 1 Quadratcentimeter des Rostes stets 1 Kilogr. in der Stunde betrage. Wir haben (484) gesehen, daß bei Generatoren mit Essen von 10, 20, 30 Meter der Widerstand des Rostes fast gleich 8 ist. Nimmt man nun den Querschnitt des Canals constant und quadratisch an und bezeichnet mit L seine Länge, mit D die Seite, mit N die Zahl der rechtwinkeligen Richtungsveränderungen, so hat man für die Einströmungsgeschwindigkeit der kalten Luft:

$$v^2 = \frac{2gHat}{1+at} \cdot \frac{1}{1+8+\left(\frac{KL}{D}+N\right)(1+at)^2} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Bezeichnet man aber mit V das Volum der kalten Luft, welches in der Secunde angesaugt werden muß, und welches sich leicht aus dem Gewicht und der Beschaffenheit des in derselben Zeit zu verbrauchenden Brennmaterials ableiten läßt, und mit S den Querschnitt des Canals, so wird man haben:

$$V = Sv \text{ ; und } v^2 = \frac{V^2}{D^4} \dots\dots\dots\dots (2)$$

Gleicht man die Werthe von v^2 der Gleichungen (1) und (2) aus, so folgt:

$$V^2 = \frac{2gHat}{1+at} \cdot \frac{D^4}{9D + (KL + ND)(1+at)^2}$$

und wäre t unbekannt und man setzte an die Stelle von V, g, H, a, N, ihre Werthe, so würde die letzte Gleichung von der Form:

$$D^5 = A + BD \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

eine Gleichung, die man annähernd auflösen könnte, indem man zuvörderst A und B unberücksichtigt läßt, den auf diese Weise erlangten Werth von D an die Stelle von D in dem zweiten Gliede der Gleichung (3) und nach und nach an die Stelle von D den letzten erlangten Werth setzt, bis die beiden auf einander folgenden Werthe nur um eine kleinere Größe, als die verlangte Annäherung differiren.

Wenn die Temperatur t nicht bekannt wäre, so müßte man ihr, nach den Erfahrungen bei ähnlichen Apparaten, einen gewissen Werth ertheilen. Wir bemerken hier, daß eine große Genauigkeit bei dem Werthe von t ohne Wichtigkeit ist, denn nach dem, was wir (443) gesehen haben, verändert sich der Zug nur sehr langsam mit t; für $t = 159^0$ und $t = 300^0$ verändert sich der Zug nur in dem Verhältniß von 57 zu 71.

493. Um ein Beispiel von diesen Berechnungen anzuführen, wollen wir annehmen, daß es sich darum handle, 50 Kilogr. Steinkohle in der Stunde zu verbrennen, daß $L = 40$ Meter, $t = 150^0$ sei und daß zehn rechtwinkelige Richtungsveränderungen vorkommen, so wird man haben:

$$V = \frac{50 \cdot 18}{3600} = 0{,}25 \text{ ; } 2gHat = 161{,}40 \text{ ; } 1 + at = 1{,}55 \text{ ;}$$

$KL = 0{,}96$, so wird die Formel (3) werden:

$$D^5 = 0{,}00057 + 0{,}0114D \text{ ;}$$

indem man zuvörderst den ersten Ausdruck unberücksichtigt läßt und nach und nach annähernd verfährt, so findet man für D die mehr und mehr genäherten Werthe:

0,325 0,335 0,337 0,338 0,338.

Es giebt demnach die zweite Substitution den Werth von D weniger als 1 Centimeter. Da nun der Querschnitt fast 13 Quadratdecimeter beträgt, so würde der Brennmaterialverbrauch auf das Quadratdecimeter etwa 3 Kilogr. sein.

494. Wir haben angenommen, daß der Widerstand des Rostes constant und gleich 8 sei; es würde dies der Fall sein, wenn der Steinkohlenverbrauch auf das Quadratdecimeter und in der Stunde 1 Kilogr. betrüge. Wenn dieser Verbrauch geringer wäre, so würde die Geschwindigkeit der

den Rost durchströmenden Luft auch geringer sein und ebenso der Widerstand; es würde daher der auf die angegebene Weise berechnete Essenquerschnitt zu groß sein. In dem entgegengesetzten Falle würde er aber offenbar zu klein sein. In allen Fällen könnte man annehmen, daß der Widerstand des Rostes proportional dem Quadrat der Geschwindigkeiten der ihn durchströmenden Luft ist; wenn man demnach mit n die Zahl der Kilogr. Steinkohlen bezeichnet, die auf das Quadratdecimeter und in der Stunde verbrannt sind, so würde der Widerstand gleich sein $8 \cdot n^2$.

495. Man kann die Resultate dieser Berechnungen nur als annähernde Werthe betrachten, da sie auf Hypothesen in Beziehung auf den Widerstand des Rostes und in der Temperatur der Luft in der Esse bestehen und weil die angenommenen Zahlen sich von der Wahrheit in sehr ausgedehnten Grenzen entfernen können.

496. Nach dem Vorhergehenden darf man nicht allein annehmen, daß der Canal seinen Durchschnitt in seiner ganzen Ausdehnung beibehalte, sondern auch, daß er nicht in verschiedene Zweige getheilt sei, die gleichzeitig durch die vom Roste ausgeströmten Gase durchströmt werden, denn wäre dies der Fall, so würde die Summe der Widerstände in den besonderen Canälen größer als die sein, welche die Luft in einem einzigen Canale von demselben Querschnitt erleidet. Wenn die Luft, wie es bei den Locomotiven der Fall ist, gleichzeitig eine große Anzahl von gleichen Röhren durchströmt, so sahen wir (394), daß der Widerstand dargestellt wird durch $\frac{K l S^2}{d S_1^2}$, oder durch $\frac{K l D^4}{n^2 d^5}$; darin bezeichnet S den Canalquerschnitt, S_1 den der Röhren, D den Canaldurchmesser, d den der Röhren und n die Anzahl der Röhren.

497. Wenn in den langen Canälen eines Generators oder irgend eines Apparates sich ein Bündel Röhren befände, so würde man zur Berechnung des Essendurchmessers das (492) angegebene Verfahren verändern müssen, weil dasselbe auf der ganzen Ausdehnung einen einzigen und einen Canal mit constanten Querschnitten annimmt. Jedoch kann man das Verfahren mit Hülfe von einigen Versuchen annehmen. Wirklich ist der Widerstand des Röhrenbündels gleich dem einer einzigen Röhre von einem Durchmesser D, dessen Länge L gegeben ist durch die Gleichung:

$$\frac{K l D^4}{n^2 d^5} = \frac{KL}{D}\text{; daher } L = \frac{l D^5}{n^2 d^5} \ldots\ldots (a)$$

Man müßte zuvörderst einen gewissen annähernden Werth von D annehmen; man würde daraus den Werth von L mittelst der Gleichung (a) ableiten; die Gleichung (3) (492) würde einen neuen Werth von D geben, in Folge dessen man einen neuen Werth von L bestimmen könnte u. s. f., bis man einen constanten Werth von L und folglich von D findet. Da man übrigens im Allgemeinen nur sehr oberflächliche Annäherungen nöthig hat, und da in dem Röhrenkessel der Durchzug des Rauches stets sehr kurz ist, so wird die Steigerung des Widerstandes in den Röhren durch die Verminderung der Länge des Canals, sowie auch durch die Zunahme der Summe der Röhrendurchschnitte fast ausgeglichen, so daß man für den Essenquerschnitt den in (492) angegebenen annehmen kann.

498. Essen, die mehreren Oefen gemeinschaftlich sind. — In den meisten großen Fabriken errichtet man nur eine einzige Esse für

alle Oefen, wodurch man zwei Vortheile erlangt: 1) eine Ersparung in den Anlagekosten; 2) einen gleichförmigen Zug, der bei einer Esse, die nur einem einzigen Roste entspricht, nicht vorhanden ist. Die Ersparung ist offenbar, denn eine einzige Esse kostet weniger in der Anlage als mehrere, indem man den Querschnitt der einzigen Esse gleich den Querschnitten der andern annimmt. In Beziehung auf den zweiten Vortheil muß man bemerken, daß in einem Ofen mit einer besondern Esse der Zug sehr veränderlich ist; unmittelbar nach dem Schüren des Rostes ist er gering, und er erhebt sich in dem Maße, als die Verbrennung lebhafter wird. Er vermindert sich hauptsächlich durch die Aufschließung der Schüröffnungen. Wenn aber mehrere Oefen mit einer gemeinschaftlichen Esse in Verbindung stehen, und wenn man dahin sieht, die Roste der verschiedenen Oefen nicht gleichzeitig zu schüren, so wird sich in der Esse ein mittlerer Zug herstellen, der um so regelmäßiger sein muß, je mehr Oefen zu einer Esse gehören.

Man giebt gewöhnlich einer gemeinschaftlichen Esse den Querschnitt, den die einzelnen Essen für jeden Ofen zusammen haben. Dieser Durchschnitt ist aber offenbar zu groß, weil der Widerstand viel kleiner ist als die Summe der Widerstände in den einzelnen Essen, welche die gemeinschaftliche ersetzen. Dieser übermäßige Zug aber, den man stets nach Belieben mäßigen kann, hat durchaus keinen Nachtheil.

499. Essen, in denen der Rauch und die im Wasser löslichen Gase gefällt oder durch Wassereinspritzungen absorbirt werden. — Man hat den Vorschlag gemacht, den Rauch zu fällen und die löslichen Gase, die unter gewissen Verhältnissen den von den Rosten ausströmenden Gasen eingemengt sind, aufzulösen, indem man Wasser in Form eines sehr feinen Regens in die horizontalen Canäle, welche die Gase, ehe sie in die Esse gelangen, durchströmen, fallen läßt; da aber die Gase fast vollständig erkaltet sind, so müßte man sie zur Hervorbringung des Zuges wieder erwärmen.

Hedley, Eisenhüttenbesitzer zu Newcastle am Tyne läßt den Rauch in einer Reihe von senkrechten Röhren circuliren, die er nach und nach von unten nach oben und von oben nach unten durchströmt, und in die Röhren, in denen der Rauch abwärts geht, läßt er sehr fein zertheiltes Wasser fallen. Ohnerachtet der Abkühlung ist der Zug sehr bedeutend, selbst für Röhren von 3 bis 4 Meter Höhe. Durch dieses Verfahren kann man alle durch die Gase mit fortgerissenen Substanzen auffangen, namentlich den Ruß, der auf der ausgeströmten Flüssigkeit schwimmt. Obgleich dieses Verdichtungsverfahren des Rauches seit langer Zeit bekannt ist, so hat man es doch in den Gewerben nicht benutzt, da es verwickelt ist und eine gewisse Kraft erfordert, um das Condensationswasser zu heben, und weil das benutzte Wasser oft sehr unbequem ist. Demnach würden Vorrichtungen dieser Art in gewissen Fällen, bei denen es sich um die Ableitung schädlicher Gase und Dämpfe oder um das Auffangen fester Körper handelt, wie z. B. bei Sodaöfen, in Blei- und Zinkhütten, sehr zweckmäßig sein.

Viertes Capitel.

Zug- oder Ventilirungsessen.

500. Es sind zwar alle Essen eigentlich Zug- oder Ventilirungsessen, jedoch bezeichnet man mit dieser Benennung besonders diejenigen, deren Zweck es ist, eine Lufterneuerung oder Lüftung menschlicher Wohnungen herzustellen. Die sich in diesen Apparaten zeigenden Erscheinungen sind weit einfacher, als in den Fabrikessen, da die angesaugte Luft im Allgemeinen nur eine geringe Wärme hat, weil sie nicht genöthigt ist, gänzlich durch den Rost zu strömen, der nur einen geringen Theil von dem Querschnitt der Esse einnimmt. Der Rost ist selbst häufig seitwärts angebracht, so daß der Essenquerschnitt in der Nähe des Rostes nicht wesentlich verändert ist; der Widerstand des Rostes kann alsdann ganz unberücksichtigt bleiben, und die Berechnungsresultate zeigen eine große Gewißheit. Wenn ein Rost vollkommen mit Brennmaterial bedeckt ist, wenn alle durch die Esse angesaugte Luft durch denselben strömen muß, wenn kein wesentlicher Wärmeverlust durch die Strahlung stattfindet, so beträgt die Temperatur der Luft jenseit des Rostes ungefähr 1200° und die Luftmenge, welche durch die Kilogr. Steinkohlen angesaugt wird, 18 Kubikmeter. Bei den Ventilationsessen dagegen wird die Luft selten auf mehr als 20° erhitzt; die Wärme, welche sie auf das Quadratmeter absorbirt, beträgt 1,3 Kilogr. $\cdot$ 20 $\cdot$ 0,25 = 6,5 und folglich beträgt das von 1 Kilogr. Steinkohle angesaugte Luftvolum $\frac{8000}{6,5} = 1230$ Kubikmeter.

501. Um mit dem einfachsten Falle zu beginnen, wollen wir eine Lüftungsesse, deren Höhe H und deren Durchmesser gleich D ist und die mit ihrem untern Theile mit einem cylindrischen Canale von l Länge und d Durchmesser, kleiner als D, in Verbindung steht. Wir wollen mit t und mit Θ die Temperaturen der Luft in der Esse und in dem Canal bezeichnen. Die Verminderung des Druckes am untern Theile der Esse sei:

$$P - p = \frac{Kl}{d} p + \frac{KH}{D} \cdot \frac{d^4}{D^4} p + p + (A-B) p;$$

die beiden ersten Ausdrücke des zweiten Gliedes der Gleichung stellen den Widerstand dar, der von der Reibung in dem Canal und in der Esse herrührt; der dritte den Verlust des Druckes, der von einer plötzlichen Richtungsveränderung bedingt ist; der letzte den Verlust des Druckes am Eingange in den Canal und die Zunahme des Druckes am Eintritt in die Esse. Im Allgemeinen sind die Leitungsröhren lang genug, so daß ihr Widerstand stets eine bedeutende Größe im Verhältniß auf den Werth von A — B haben. Es kann demnach das zweite Glied der Gleichung auf die drei ersteren reducirt werden, welches für die Einströmungsgeschwindigkeit giebt:

$$v = \sqrt{\frac{2gHa(t-\Theta)}{1+at}} \sqrt{\frac{1}{\frac{Kl}{d} + \frac{KH}{D} \cdot \frac{d^4}{D^4} + 2}} \ldots\ldots (1)$$

502. Nehmen wir z. B. eine quadratische Esse an, die mit einem ebenfalls im Querschnitt quadratischen Canale in Verbindung steht; nehmen wir H = 30 M., D = 1 M., d = 0,5 M., l = 500 M., $\Theta = 15^0$, $t = 35^0$, so wird die Formel (1)

$$v = \sqrt{\frac{19,62 \cdot 30 \cdot 0,00366 \cdot 20}{1 + 0,00366 \cdot 35}} \sqrt{\frac{1}{24 + 0,72 + 2}} = 6,18 \cdot 0,193 = 1,19 \text{ M.}$$

Da der Querschnitt des Canals 0,25 Q. M., so wird das Volum der angesaugten Luft für die Secunde sein 1,19 • 0,25 = 0,297 Q. M. und in der Stunde 0,297 • 3600 = 1069 Q. M. Der Wärmeverbrauch in der Stunde wird daher etwa sein 1069 • 1,3 Kilogr. • 20 • 0,24 = 6670, eine Zahl, die etwa unter derjenigen stehen wird, welche durch Verbrennung von 1 Kilogr. Steinkohle erfolgt.

503. Wir wollen jetzt den allgemeinsten Fall betrachten, und annehmen, daß die stets prismatische Esse mit einem Canale in Verbindung steht, der nach allen Richtungen gebogen ist und dessen verschiedene Theile verschiedene Temperaturen haben. Die Temperaturverschiedenheiten werden auf zweierlei Weise wirken: 1) durch die Veränderung des Druckes, welcher das Ausströmen veranlaßt; 2) durch Veranlassung von Geschwindigkeitsveränderungen, und in Folge von Veränderungen im Widerstande und in der Reibung. Da aber der Einfluß der Temperaturveränderungen auf die Geschwindigkeit und folglich auch auf die Reibung sehr gering ist, so könnte man ohne einen wesentlichen Irrthum annehmen, daß die Geschwindigkeitsveränderung nur im umgekehrten Verhältniß zu den Querschnitten stehe. Bezeichnet man alsdann mit P und R den Druck und sämmtliche Widerstände, so wird die Ausströmungsgeschwindigkeit gegeben durch die Formel:

$$v = \sqrt{\frac{2gP}{1+R}}.$$

Der Werth von R läßt sich durch das Verfahren berechnen, welches wir angegeben haben, als wir von dem Ausströmen der verdichteten Gase redeten.

Wir werden die verschiedenen Fragen, die sich an die Ventilationsessen knüpfen, im dritten Bande, wenn wir von der Ventilirung der Wohnungen reden, näher zu erörtern suchen.

Fünftes Capitel.

Construction der Essen.

504. Da der Querschnitt und die Höhe der Essen nach den vorhergehenden Betrachtungen untersucht werden können, so bleiben uns nur die Beschaffenheit der Materialien, die Wandstärken und die allgemeine Einrichtung zu untersuchen übrig. Dies soll nun von den Fabrik- und von den Essen menschlicher Wohnungen geschehen.

Fabrikessen.

505. Die Fabrikessen stehen stets isolirt; sie bestehen aus Ziegelstein oder aus Blech; mit dem einen oder dem andern dieser Materialien veranlassen sie unter gleichen Umständen dieselbe Wirkung, da die Abkühlung, welche die Luft in den blechernen Essen erleidet, keinen wesentlichen Einfluß auf den Zug hat (490).

506. Die zweckmäßigste Querschnittsform in Beziehung auf die Verminderung des Widerstandes ist diejenige, welche bei einer gegebenen Oberfläche den geringsten Umfang hat, und dies ist folglich die Kreisform, sowie zunächst die polygonale Form mit vielen Flächen. Blechernen Essen giebt man stets eine kreisrunde Form, während bei den aus Ziegelstein aufgeführten Essen der Querschnitt kreisförmig, quadratisch oder achteckig ist. Den runden Essen muß man auch darin den Vorzug geben, daß sie bei gleichem Querschnitt die wenigsten Materialien zu ihrer Construction bedürfen.

507. Wir wollen jetzt die Form des senkrechten, durch die Achse gehenden Durchschnittes untersuchen. Wenn die Essen nur eine geringe Höhe haben, so macht man sie im Innern prismatisch, indem man den Wänden unten eine größere Stärke als oben giebt, wie die Figuren 67 und 68 zeigen. Bei hohen Essen wendet man aber stets eine pyramidale Gestalt sowohl innerlich als äußerlich an, wie aus den Figuren 69 und 70 zu erkennen ist. Dabei bleibt die Basis, auf welcher der ganze Bau ruht, so fest als möglich, während die Masse des Mauerwerkes so viel als thunlich vermindert wird. Es ist unmöglich, die inneren und äußeren Böschungen zu berechnen, da die Berechnung auf zu vielen unbekannten Elementen beruhen müßte. Wir begnügen uns damit, solche Böschungen anzugeben, welche durch die Praxis als zweckmäßig anerkannt worden sind.

508. Bei den großen Fabrikessen beträgt die innere Böschung auf das laufende Meter etwa 0,012 bis 0,018 und die äußere Böschung wechselt von 0,025 bis 0,035. Die Dicke des Mauerwerkes am obern Ende der Essen beträgt 0,11 oder 0,22 M., d. h. die Breite oder die Länge eines gewöhnlichen Ziegelsteines. Wenn man demnach mit d den innern Durchmesser an der Spitze einer Esse und mit d′ ihren äußern Durchmesser und mit D und D′ ihren innern und äußern Durchmesser am Fuße der Esse bezeichnet, so erhält man:

$d' = d + 0{,}22$; oder $d' = d + 0{,}44$ $D = d + 2Hm$ $D' = d' + 2Hm'$; m liegt zwischen 0,012 und 0,018 und m′ zwischen 0,025 und 0,035.

Nehmen wir z. B. eine Esse von 20 M. Höhe und 0,60 M. innerem Durchmesser an der Spitze an; der innere Durchmesser D am Fuß wird sein, wenn man $m = 0{,}014$ nimmt, gleich 1,16 M.; der äußere Durchmesser d′ an der Spitze wird sein: $0{,}60 + 0{,}22 = 0{,}82$ M., und der äußere Durchmesser D′ am Fuß, indem man $m' = 0{,}03$ annimmt, wird sein 0,02 M. Man kann alsdann das Profil einer jeden Esse in jedem besondern Fall verzeichnen.

Die Esse der Tabaksmanufactur zu Paris, welche den Zweck hat, 700 Kilogr. Steinkohlen in der Stunde zu verbrennen, welches mehr als 100 Pferdekräften entspricht, hat 29 M. Höhe, einen innern obern Durchmesser von 1,03 M. und von 2,50 M. am Fuß. Der äußere Durchmesser am obern Ende beträgt 1,30 M. und am untern 3,45 M.; beide Böschungen sind sich gleich.

509. Wenn man die inneren und äußeren Oberflächen konisch construiren wollte, so würde die Ausführung sehr schwierig und man würde genöthigt sein, sehr viel besonders geformte Ziegelsteine dazu zu verwenden, oder die gewöhnlichen zurichten zu lassen, welches sehr bedeutende Arbeitslöhne veranlassen würde. Die zugehauenen Ziegelsteine verlieren obendrein an Festigkeit und Widerstandsfähigkeit, da ihre äußere Rinde diese Eigenschaft in einem weit höhern Grade hat, als die inneren Theile.

Man könnte die konischen oder prismatischen Essen aus einer Reihe von Cylindern oder Prismen bestehen lassen, welche im Innern und Aeußern plötzliche Vorsprünge bilden würden, allein man zieht die in Fig. 70 dargestellte Construction vor. Die Esse ist äußerlich konisch oder pyramidal, und im Innern verändert sich die Wandstärke durch plötzliche Vorsprünge, die 11 Centimeter oder eine Ziegelsteinbreite betragen.

510. Die Ziegelsteinessen haben gewöhnlich eine Höhe von 20—30 und nur selten eine solche von 40 M., jedoch findet man einzelne, deren Höhe 100 Meter übersteigt, die einen entsprechenden Durchmesser haben und wozu eine außerordentliche Anzahl von Ziegelsteinen erforderlich ist.

511. Die Ziegelsteinessen stehen gewöhnlich auf prismatischen Fundamenten, die auf zwei entgegengesetzten Seiten mit Oeffnungen versehen sind; die eine derselben nimmt den Canal oder Fuchs auf, welcher den Rauch in die Esse führt, während die andere, die gewöhnlich durch eine dünne Ziegelsteinmauer verschlossen ist, dazu dient, von Zeit zu Zeit einen Arbeiter in die Esse gelangen zu lassen, welcher deren Reinigung oder Reparatur bewirkt. Zu dem Ende ist die Esse mit eisernen, horizontalen, 0,50 M. von einander entfernten Stäben versehen, die eine Leiter bilden, mittelst deren der Arbeiter leicht bis zur Spitze gelangen kann.

512. Es ist von Wichtigkeit, die Essen auf ein festes Fundament zu stellen, welches ihrem Gewicht nicht nachgiebt, denn die Senkung erfolgt oft ungleich und es kann daraus ein Umsturz der Esse, oder wenigstens eine nachtheilige und gefährliche Abweichung ihrer Stellung außer dem Loth hervorgehen. Es ist dies ein Punkt, auf den die Architekten häufig nicht die gehörige Sorgfalt verwenden.

513. Essen, welche die Luft mit einer sehr hohen Temperatur aufnehmen müssen, wie z. B. die der Flammöfen, werden aus feuerfesten Zie=

gelsteinen aufgeführt, oder erhalten wenigstens ein Futter von feuerfesten Steinen, und es muß dabei auch ein feuerfester Mörtel angewendet werden. Bei Essen, wie die der Dampfkessel, die den Rauch selten mit einer höhern Temperatur als 300° aufnehmen, kann man gewöhnliche Ziegelsteine und aus Kalk und Kieselsand bestehenden Mörtel anwenden; es würde jedoch zweckmäßig sein, dem untern Theil ein Futter von feuerfesten Ziegelsteinen zu geben. Niemals darf Gyps angewendet werden, wenn die Temperatur des Rauches höher als 100° ist, indem er alsdann sein hygrometrisches Wasser und folglich seine Festigkeit verliert.

514. Einzeln stehende, große Essen können, wenn sie einen hinreichend großen Durchmesser haben, ohne äußeres Gerüst aufgeführt werden; der Arbeiter erhebt sich nach und nach auf im Innern angebrachten Gerüsten. Ein in diesen Arten von Constructionen geübter Maurer kann mit Hülfe eines Knaben, der ihm Steine und Mörtel zureicht, in vierzehn Tagen eine pyramidale Esse von 13—14 M. Höhe und von 2 und 1 M. äußerem und innerem Durchmesser an der Basis, und von 0,80 und 0,60 M. äußerem und innerem Durchmesser am Gipfel aufführen.

515. Die Essen endigen gewöhnlich mit einem weit größern Durchmesser, der dem Capitäl einer Säule gleicht; dieser Theil der Esse hat im Wesentlichen den Zweck, ihr ein eleganteres Aeußere zu geben. Die Capitäle oder vielmehr Gesimse bestehen entweder ebenfalls aus Ziegelsteinen, oder aus behauenem Sandstein.

516. Ziegelsteingesimse lassen, wenn sie nicht mit einem Ueberzuge versehen sind, leicht Regenwasser durch ihre Fugen eindringen, wodurch eine sehr baldige Zerstörung veranlaßt wird; man bedeckt sie daher mit einer dünnen gußeisernen, oder mit einer Blechplatte, die sich über den ganzen horizotalen Theil ausdehnt, und die sich innerlich oder äußerlich auf 0,10 bis 0,15 M. umbiegt.

517. Die Fig. 71 stellt einen Durchschnitt von einer großen blechernen Esse dar; der Essenkörper ist auf einem gußeiserner Sockel festgenietet und dieser letztere ist mittelst vier Bolzen mit einem festen Mauerwerk verbunden. Wenn diese Essen sehr hoch sind, so hält man sie durch eiserne Rüstseile am Boden oder an den benachbarten Gebäuden fest. Um das Rosten des Bleches zu verhindern, überzieht man es mit wiederholt aufgetragenen Schichten von Steinkohlentheer, welcher, ohne sich wesentlich zu verändern, eine sehr hohe Temperatar aushält.

518. Die isolirt stehenden und sehr hohen Fabrikessen ziehen durch ihre Höhe und wegen des in ihrem Innern befindlichen Rußes, der ein sehr guter Elektricitätsleiter ist, sehr leicht den Blitz an, weshalb man an den höchsten Punkten dieser Essen Blitzableiter anbringen muß. Die Figg. 72 und 73 stellen die im Allgemeinen angewendeten Einrichtungen dar. Bei der erstern tragen vier Stangen, die an dem blechernen Hut, der das Capitäl bedeckt, angenietet sind, die Blitzableiterstange, und eine von jenen verlängert sich in die aus Draht bestehende Leitung. Die zweite stellt den Blitzableiter einer blechernen Esse dar. Die Stange mit der Spitze steht auf drei geneigten Stangen, die auf die Ränder der Esse festgenietet sind, die selbst als Leiter dient und von deren unterem Ende eine Kette in einen Brunnen führt.

519. Wenn die isolirten Essen sehr hoch sind und wenn sie Luft von einer hohen Temperatur aufnehmen müssen, so ist es nothwendig, ihre Festig=

keit durch Verankerungen zu erhöhen. Bei den Essen mit viereckigem Querschnitt der Puddel- und Schweißöfen findet man die in Fig. 74 dargestellte Verankerung, die aus den Figg. hinreichend verdeutlicht wird. Bei konischen Essen bringt man eiserne Reifen in das Innere des Mauerwerkes.

Besser noch sind bei Puddel- und Schweißöfen der Länge nach laufende und am Aeußern angebrachte Stäbe, welche durch ähnliche klammerartige Anker, wie in Fig. 74 dargestellt worden sind, festgehalten werden.

520. Die Figuren 75 und 76 stellen eine große Fabrikesse mit rundem Querschnitt dar, welche nach den Plänen von Thomas und Laurens ausgeführt worden ist. Die Esse hat 40 M. Höhe, am Fuße 3,35 und am obern Ende 2,02 M. Durchmesser; es ist daher die innere Böschung auf das Meter der Achse 0,016 M. Der äußere Durchmesser ist unten 5,60 und oben 2,52. Die äußere Böschung beträgt 0,030 M. auf das laufende Meter. Die Esse hat fünf Absätze, jeden von 8 M. Höhe und sowohl im Innern als Aeußern konisch. Die Mauerstärke beträgt drei Ziegelsteine für die unterste Abtheilung und sie vermindert sich nach und nach auf $2\frac{1}{2}$, 2, $1\frac{1}{2}$ und 1 Ziegelsteinstärke für die übrigen Abtheilungen. In der Dicke des Mauerwerkes befinden sich 38 eiserne Reifen h, h′ und i, i′. Die erstere Abtheilung der Esse hat ein inneres Futter von halbfeuerfesten Ziegelsteinen. Das obere Ende ist mit einer gußeisernen Platte a, b bedeckt, die aus vier durch Schraubenbolzen mit einander verbundenen Theilen besteht.

Zuweilen werden in den Essen bei cc′, dd′, ee′, ff′, gg′ an dem Fuße jeder Abtheilung Gesimse von farbigen Ziegelsteinen angebracht; die zwischen diesen Gesimsen bleibenden Felder werden häufig von verschiedenfarbigen oder verschiedene Zeichnungen bildenden Ziegelsteinen ausgeführt.

521. Register. — Bei allen Feuerungsapparaten, seien übrigens ihre Dimensionen und Zwecke, welche sie wollen, ist es stets erforderlich, unten oder oben eine blecherne oder gußeiserne Platte anzubringen, mittelst welcher man den Zug nach Belieben vermindern oder die Esse bei eingestelltem Betriebe des Ofens gänzlich verschließen kann. Die Register sind besonders bei den unterbrochen wirkenden Apparaten sehr zweckmäßig, da, wenn der Luftstrom unterbrochen ist, die Oefen sich nur sehr langsam abkühlen.

522. Man kann den Registern eine sehr verschiedenartige Einrichtung geben. Bei kleineren Apparaten, deren Essen aus Blech oder aus Gußeisen bestehen, regulirt man die Oeffnung der Esse durch ein gewöhnliches Klappenventil (Fig. 77.), welches sich mit einer Spindel dreht, die durch die entgegengesetzte Seite der Röhre geht, und die man auf der einen Seite mit einem gewöhnlichen Schlüssel dreht.

523. Man könnte diese Einrichtung auch bei Apparaten mit einem größern Durchmesser anbringen, da aber die Reibung der Spindel in ihren Zapfen nicht hinreichend wäre, um die Scheibe in ihrer Stellung zu erhalten, so mußte man an der Spindel außerhalb der Esse eine senkrecht auf ihrer Richtung stehende Stange (Fig. 78) anbringen, die an ihrem Ende mit einem Loche versehen ist, durch welche ein Nagel geht, mit welchem man sie an einem gußeisernen Halbkreise, der an der Esse angebracht ist, feststellen könnte. Die bewegliche Platte müßte aus Gußeisen bestehen, weil

das Blech sehr bald oxydirt und zerfressen werden würde, während die gußeiserne Platte nicht zu dünn sein darf, weil sie sonst, besonders in einer hohen Temperatur des Rauches, leicht windschief werden würde. Bei einem horizontalen Canal kann man die (Fig. 79) angegebene Einrichtung anwenden; das Register besteht aus einer gußeisernen Platte b, die um eine stehende Spindel mit dem Zapfen c beweglich ist, und die man mittelst einer Kurbel a über einen obern Zapfen und gußeisernes Zapfenlager bewegt, wenn man den Zug in der Esse verändern oder ganz unterbrechen will.

524. Zuweilen wendet man auch horizontale Schieber an, allein bei den großen Apparaten bedient man sich am Häufigsten solcher, die sich senkrecht bewegen, und die mit einem Gegengewicht versehen sind. Fig. 80 ist ein Durchschnitt nach der Länge des Canals mit einer solchen Einrichtung. R ist eine gußeiserne Platte, die in einer ebenfalls gußeisernen Coulisse, welche in dem Mauerwerk angebracht ist, sich verschieben kann; sie wird durch eine Kette gehalten, die über eine Rolle P läuft, und an ihrem andern Ende mit einem Gegengewicht M versehen ist.

525. Diese letztere Einrichtung wird sehr allgemein angewendet; sie hat jedoch einen sehr großen Nachtheil, der daher rührt, daß stets ein großer Zwischenraum zwischen den Rändern der Platte und den Falzen des gußeisernen Rahmens, in denen sie sich bewegt, vorhanden ist. Es folgt daraus, daß eine große Menge kalter Luft in der Esse angesaugt, und dadurch der Zug des Rostes wesentlich vermindert wird. Man könnte das directe Ansaugen der äußern Luft um das Register, wenn es gesenkt ist, dadurch vermeiden, daß man an seinem obern Theil einen Sandabschluß anbrächte.

526. Wenn die Temperatur der warmen Luft 500 bis 600° übersteigt, so kann man die hier beschriebenen Apparate nicht benutzen, weil Guß- und Schmiedeeisen zu rasch die Form verlieren und oxydirt werden würden. Das zweckmäßigste Verfahren, den Zug der Esse zu reguliren, ist alsdann das, an der obern Essenöffnung eine bewegliche Platte anzubringen, die, da sie stets auf einer Seite der kalten Luft ausgesetzt isi, sich minder erhitzt. Fig. 81 stellt diese Vorrichtung dar: c ist eine gußeiserne Platte, die durch eine senkrechte Stange gehalten wird, welche an dem einen Ende des Hebels a b hängt, der sich um d dreht; das Ende a erhält eine Kette g, mittelst deren man die Entfernung der Platte von der Essenöffnung regulirt. Diese Einrichtung hat das Nachtheilige, daß ein Arbeiter auf den Gipfel der Esse steigen muß, wenn der Apparat in Unordnung gerathen ist.

Die Hausschornsteine.

527. Die Dimensionen der Essen und der Schornsteine in den Häusern sind in Frankreich durch königl. Ordonnanzen von den Jahren 1712 und 1723 regulirt. Die Kamine in den Zimmern mußten 3 Fuß breit und 10 Zoll tief sein; dieselben Dimensionen mußten die damit zusammenhängenden Schornsteine haben. Küchenschornsteine in großen Häusern mußten $4\frac{1}{2}$ bis 5 Fuß breit und 10 Zoll tief sein. Sie mußten aus Ziegelstein construirt und von Distance zu Distance mit eisernen Federn versehen werden.

528. Diese sehr bedeutenden Dimensionen, welche auch, jedoch nicht nach so bestimmten Regeln, die deutschen Schornsteine hatten, veranlaßten

große Nachtheile, denn außer dem vielen Raume, den die Kaminröhren einnahmen, war der große Querschnitt der Canäle und ihre abgeplattete Form doppelten Luftströmen sehr günstig; die nächste Folge war daher, daß leicht Rauch in die Zimmer drang. Seitdem hat man diese Nachtheile dadurch beseitigt, daß man die Essen an den beiden Enden oder an irgend einem Punkt ihrer Höhe verengte.

529. Wenn man die großen Ofenröhren mit denen der Kaminröhren vergleicht, und findet, daß man in den großen Oefen oft weit mehr Brennmaterial verbrennt, als in den Kaminen, so muß man erstaunen, daß so lange Zeit hindurch ein so großes Mißverhältniß zwischen den Dimensionen der Fabrikessen und der Hausschornsteine stattfinden konnte. Nun müssen zwar für gleiche Brennmaterialmengen, die in gleichen Zeiten verbrannt werden, die Kaminröhren viel größer sein als die der Dampfmaschinen und anderer Oefen, weil sowohl Kamine als auch Stubenöfen eine große Menge Luft ansaugen, welche die Verbrennung nicht unterhält; wenn man aber diesen Umstand auch berücksichtigt, so findet doch immer noch ein großes Mißverhältniß statt. Die angenommene Gewohnheit, die Hausschornsteine durch Menschen reinigen zu lassen, die selbige ihrer ganzen Höhe nach durchsteigen mußten, ist wahrscheinlich die Ursache, daß man den Hausschornsteinen zwecklose Dimensionen gab. Da man aber zur Reinigung der Essen weit einfachere Mittel anwenden kann, so ist es sehr vortheilhaft, ihnen nur solche Dimensionen zu geben, die zur Ventilation und zur Rauchentwickelung hinreichend sind. Die runde Form ist stets allen übrigen vorzuziehen, denn weil der Widerstand der ganzen innern Oberfläche nach gleichförmig ist, so entstehen doppelte Strömungen weit seltener als in quadratischen und hauptsächlich in Röhren mit länglich-viereckigem Querschnitt. Da in diesen letzteren die Widerstände an den Enden weit bedeutender sind, so können sich weit leichter niedergehende Ströme bilden. Die Erfahrung hat bewiesen, daß für eine gewöhnliche Zimmeressenröhre ein Durchmesser von 15—20 Centimeter oder eine quadratische Röhre von 3—4 Quadratdecimeter Querschnitt fast stets hinreichend ist.

530. Gyps darf nicht als Material zur Construction der Esse angewendet werden, und höchstens darf man ihn als Mörtel benutzen.

531. Gußeiserne Schornsteinröhren haben große Nachtheile, wenn sie in das Mauerwerk eingelassen werden, da sie Ausdehnungen und Zusammenziehungen unterworfen sind, die von Temperaturveränderungen herrühren. Man kann sie daher nur dann benutzen, wenn sie frei oder an Mauern angelegt stehen.

532. Essen von gewöhnlicher Töpferwaare haben im Allgemeinen eine zu geringe Dicke und sind zu zerbrechlich, so daß man sie auch nur zu eisernen Röhren verwenden kann. Man benutzt aber häufig Röhren von 0,03 Meter Dicke von gebranntem Thon und von verschiedenen Formen und Querschnitten, die durch Fugen mit Falzen verbunden werden, und welche die Nachtheile der gewöhnlichen töpfernen Röhren nicht haben.

533. Die besten Materialien zum Bau der Essen sind Ziegelsteine, und zwar sind von allen Formen derselben die in den Figg. 82 und 83 in Querschnitten dargestellten die zweckmäßigsten und in Frankreich fast allgemein angewendeten. Die Essen sind in den Mauern angebracht, die deshalb nicht dicker gemacht zu werden brauchen und deren Festigkeit nicht dadurch vermindert wird. Die Dicke der Steine ist bedeutender als die

der gewöhnlichen Ziegelsteine, und ihre Querschnittsform wird durch die Figg. 82 und 83 verdeutlicht. Die erstere stellt die zu einer einzelnen Esse erforderlichen Steine von zwei auf einander folgenden Lagen dar, welche auf diese Weise einen Verband bilden, und es verhindern, daß die Fugen über einander zu liegen kommen. Fig. 83 zeigt die Querschnittsformen, wenn zwei Kaminröhren neben einander liegen. Es hat diese Construction eine große Festigkeit für sich, allein sie hat das Nachtheilige, daß mehrere Modelle zu den Ziegelsteinen vorhanden sein müssen, da nicht allein die verschiedenen Durchmesser, sondern auch die Anzahl der zusammengruppirten Röhren verschiedener Ziegelsteine bedürfen.

534. Die Reinigung dieser Essen hat gar keine Schwierigkeiten; in Frankreich verwendet man dazu aus dünnen Blechstreifen bestehende Bündel, die an zwei Säulen von der Länge der Essenröhre befestigt sind, und mittelst deren man das Reinigungswerkzeug auf- und niederführt. In Deutschland werden jetzt die in Leipzig erfundenen scharfen und mit einer eisernen Kugel beschwerten Bürsten, die man durch die obere Essenöffnung in die Röhre hinabläßt, wodurch man eine sehr genaue Reinigung bewirkt, am Häufigsten angewendet; an manchen Orten werden sie auch durch Ausbrennen, welches jährlich einmal geschieht, selbst von dem festesten Glanzruß befreit.

Sechstes Capitel.

Einfluß des atmosphärischen Zustandes auf den Zug der Essen.

Einfluß der Winde.

535. Die Winde haben bekanntlich einen sehr großen Einfluß auf den Zug der Essen; ihre Einwirkung zeigt sich sowohl an der Einströmungsöffnung der warmen Luft, als an der Einströmungsöffnung der kalten, d. h. am obern Ende der Esse und an der Oeffnung des Aschenfalles oder Luftzuführungscanals. Aus diesem Grunde untersuchen wir nach einander den Einfluß der Winde auf die beiden Enden der Röhre.

536. Einfluß der Winde auf das obere Ende der Esse. — Zum vollständigen Studium dieser Frage, die hauptsächlich bei geringem Zug wichtig ist, muß man den Einfluß des Windes in allen möglichen Richtungen betrachten.

537. Wir wollen zuvörderst annehmen, daß der Wind senkrecht auf der Richtung der Esse stehe, und daß er folglich horizontal sei. In diesem Fall folgt aus der Beobachtung, daß das Ausströmen des Rauchs nicht wesentlich verändert wird. Wenn der Windstrom eine starke Neigung hat, so ist es nöthig, daß eine Vermehrung der Ausströmungsgeschwindigkeit die Verminderung des Querschnittes ausgleicht. Man kann sich von dieser

Wirkung Rechenschaft geben, wenn man wahrnimmt, daß der ausströmende Rauch eine Geschwindigkeit besitzt, die von der senkrechten Richtung der Esse und von der horizontalen des Windes herrührt; man findet alsdann eine genaue Ausgleichung. Es sei ab (Fig. 84) die Geschwindigkeit des Rauches, wenn der Wind nicht einwirkt und ac die Geschwindigkeit des Windes, so wird ad die Geschwindigkeit und die Richtung des ausziehenden Rauches sein. Fällt man pq senkrecht auf ad, so werden die beiden Linien ab und pq proportional dem Querschnitt der Esse und dem Querschnitt des geneigten Stromes sein, und da die Dreiecke abd und apq ähnlich sind, so folgert man: $ap \times ab = ad \times pq$, und es folgt daraus, daß die Ausflüsse in beiden Fällen dieselben sind.

538. Wenn der Wind eine senkrechte Richtung von oben nach unten hat, so hängt die hervorgebrachte Wirkung von der Geschwindigkeit des Windes und von derjenigen ab, welche die verbrannte Luft annehmen könnte, wenn sie keinen Widerstand fände. Wenn daher ein von oben nach unten gerichteter Wind das Ausströmen des Rauches verhindern soll, so ist es nicht allein hinreichend, daß die Geschwindigkeit des Windes gleich der des Rauches wäre, sondern es müßte auch seine Geschwindigkeit gleich der sein, welche der Rauch annehmen würde, wenn er keinen Widerstand fände. Nimmt man an, daß die Geschwindigkeit des Windes nach und nach zunimmt, die Ausströmungsgeschwindigkeit aber abnimmt, so werden sich die Widerstände vermindern, und der Druck an der obern Oeffnung der Esse wird sich vermehren. Wäre das Gleichgewicht hergestellt, so würde der Druck der verbrannten Luft von unten nach oben gleich dem theoretischen Druck sein, und der Wind müßte eine entsprechende Geschwindigkeit haben, wenn das Ausströmen der verbrannten Luft gänzlich aufhören sollte. In den großen Fabrikessen von 30 Meter Höhe, welche verbrannte Luft von 300° enthalten, ist die Ausströmungsgeschwindigkeit, die von dem Ueberschuß des Druckes herrührt, fast gleich 18 M., und die wirkliche Geschwindigkeit fast 3 M.; es würde demnach eine Geschwindigkeit des Windes von 18 M. von oben nach unten zur Aufhebung des Zuges erforderlich sein.

539. Wenn man aber annimmt, daß der Wind von unten nach oben gerichtet sei, so muß sein Einfluß auf die Entwickelungsgeschwindigkeit des Rauches jedesmal dann Null sein, wenn seine Geschwindigkeit gleich oder unter der des Rauches ist. Die Ursache dieses Einflusses des von unten nach oben gerichteten Windes ist leicht zu erkennen; jeder Gasstrom sucht die umgebende Luft mit wegzureißen und ihr seine eigene Geschwindigkeit mitzutheilen. Wenn daher die Geschwindigkeit des aufsteigenden Luftstromes größer als die des Rauches ist, so vermehrt er den Zug.

540. Die Luftströme haben aber selten die Richtungen, welche wir untersuchen wollen, denn sie sind fast niemals horizontal oder vertical, sondern sie haben stets eine kleinere oder größere Neigung zum Horizont. Man kann aber leicht diesen allgemeinen Fall auf den weiter oben untersuchten zurückführen. Man kann einen geneigten Strom als aus einem horizontalen und einem senkrechten zusammengesetzt ansehen, und kann aus dem Vorhergehenden leicht folgern, daß der Einfluß des Windes günstig sein könnte, wenn er sich zu erheben sucht, daß er aber im entgegengesetzten Falle stets ungünstig einwirken muß.

Da die Winde im Allgemeinen wenig geneigte Richtungen zum Horizont haben, so ist ihr Einfluß auf die hohen und einzeln stehenden Essen sehr gering; anders ist es aber, wenn die Essen wenig über den Hausdächern hervorragen, und wenn sie von Gebäuden oder Bergen beherrscht werden, weil die Luftströme die Richtung der Oberflächen, welche sie treffen, annehmen, und sie können alsdann in der einen oder in der andern Richtung eine bedeutende Neigung zum Horizont haben. Die Luftströme, welche unbewegliche Oberflächen treffen, verfolgen deren Richtung und biegen sich nicht, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man den Wind eines Blasebalges schief gegen eine ebene Oberfläche richtet, indem er alsdann die Richtung derselben verfolgt. Wenn der Strom gegen einen Cylinder senkrecht auf seine Richtung geht und zwar so, daß die Achse des Luftstromes und die des Cylinders in einer und derselben Ebene liegen, so theilt sich der Luftstrom in zwei Theile, welche dem Umfange des Cylinders folgen und sich an demjenigen Punkte desselben vereinigen, der dem, wo der Luftstrom aufstieß, entgegengesetzt ist.

541. Es folgt aus dem Vorhergehenden, daß die durch die Winde verursachte Verminderung des Zuges in den Essen um so größer, je kleiner der Zug, je größer die Geschwindigkeit des Windes, und daß seine Richtung mehr von oben nach unten zum Horizont geneigt ist.

542. Einfluß des Windes auf die Feuerheerde. — Betrachten wir den rechtwinkelig gebogenen Canal ABC (Fig. 85), welcher die Einrichtung eines gewöhnlichen Heerdes mit seiner Esse darstellt. A ist die Oeffnung, durch welche die kalte Luft, die zur Unterhaltung der Verbrennung dienen soll, einströmt, während C die Ausströmungsöffnung für den Rauch ist.

Nehmen wir nun an, daß der Canal mit kalter Luft von gewöhnlicher Temperatur ausgefüllt sei, und daß ein horizontaler, senkrecht auf der Richtung der Röhre ABC blasender Wind stattfinde, so ist es ganz klar, daß die in dem Canal eingeschlossene Luft keine Bewegung erleidet. Wenn aber der Strom parallel mit der Röhre AB geht, so veranlaßt er ein Ausströmen von Luft durch den Canal ABC, in der Richtung der Bewegung der äußern Luft; die Luft wird alsdann durch C einströmen und durch B ausziehen, und wenn der Wind die Richtung von AB hat, so wird der Strom durch A eintreten und durch C ausströmen.

Wir wollen jetzt annehmen, daß der Canal mit warmer Luft angefüllt sei, welche durch die Oeffnung C mit einer gewissen Geschwindigkeit ausströmt; es ist nun klar, daß wenn der Wind die Richtung von AB hat, und wenn seine Geschwindigkeit größer ist, als die des warmen Luftstromes, die Geschwindigkeit dieses letztern beschleunigt werden muß, und daß wenn sich dagegen der Wind in der Richtung BA bewegt, der warme Luftstrom stets vermindert werden muß. Es wird demnach in einem Apparat, der wie Fig. 85 vorgerichtet ist, der in der Richtung von AB blasende Wind den Zug befördern, ihn dagegen vermindern, wenn er die entgegengesetzte Richtung hat. Es ist dies eine Erscheinung, die man häufig beobachten kann. Jedesmal, wenn die Richtung des Windes der Bewegung der äußern Luft gegen den Heerd entzogen ist, wird stets eine Verzögerung des Zuges stattfinden.

Einfluß der Temperatur der äußern Luft.

543. Wenn die Temperatur der in einem Kamin verbrannten Luft sehr constant bleibt und wenn die äußere Temperatur steigt oder fällt, so nimmt der Zug ab oder zu. Der Einfluß dieser Veränderungen zeigt sich aber hauptsächlich bei den in den Heerden entstehenden Erscheinungen. Die Verbrennung ist um so lebhafter, es entgeht der Verbrennung um so weniger Luft, je bedeutender ihre Dichtigkeit ist, und um dieselbe Brennmaterialmenge zu verbrennen, bedarf man einer geringern Menge kalter als warmer Luft. Es ist daher der Zug der Essen im Winter bedeutender als in jeder andern Jahreszeit. Man hat jedoch, wie wir später sehen werden, gefunden, daß beim Betriebe der Hohöfen es einen großen Vortheil gewähre, statt der kalten Gebläseluft warme zu benutzen; es sind aber die Verhältnisse von denen in den gewöhnlichen Heerden sehr verschieden, indem die warme Luft mit großer Geschwindigkeit auf das Brennmaterial strömen muß.

Einfluß des atmosphärischen Druckes.

544. Nimmt man an, daß die Luft in den Essen dieselbe Temperatur behalte, während die äußere Luft einen verschiedenen Druck habe, so würde die Ausströmungsgeschwindigkeit dieselbe bleiben, möchte der äußere Luftdruck sein, welcher er wolle, wenn die Verbrennung dieselbe blieb. Da aber das Gewicht der angesaugten Luft sich mit dem Druck in demselben Apparat verminderte, so würde man Brennmaterialmengen verbrennen, die im Verhältniß zu dem äußern Druck verschieden sein müßten. Der Einfluß der Barometerveränderungen zeigt sich hauptsächlich in den Heerden; die Verbrennung ist um so weniger lebhaft, es entgeht um so mehr Luft ohne Veränderung, je geringer der äußere Druck ist. Dieser Einfluß ist so groß, daß wenn der Druck auf drei Viertel des gewöhnlichen reducirt ist, die Verbrennung so träge wird, daß die von ihr entwickelte Wärme nicht mehr zu ihrer Erhaltung hinreicht. Auf dem Mont-Blanc, wo das Barometer sich nur auf 0,57 M. erhebt, verbrennen die Holzkohlen nur, wenn man sie mit dem Blasebalg anfacht.

Einfluß des hygrometrischen Zustandes der Luft.

545. So wie die Veränderungen des Druckes und der äußern Temperatur, sind auch die Veränderungen des hygrometrischen Zustandes der Luft ohne wesentlichen Einfluß auf die Ausströmungsgeschwindigkeit der verbrannten Luft, und es müßte daher der Zug durch eine größere Feuchtigkeit nur eine geringe Verminderung erleiden, wenn diese Feuchtigkeit nicht die Verbrennung veränderte. Aber auch hier, wie in den beiden schon untersuchten Fällen, ist die Einwirkung auf den Heerd weit bedeutender als die erstere. In dem Maße, wie die in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe zunehmen, entgeht eine um so größere Luftmenge der Verbrennung, die Heerde brennen schlecht und der Nutzeffect des Brennmaterials vermindert sich.

546. Man sieht daher, daß bei sogenannter dicker Luft, d. h. bei einem geringen Druck bei einer hohen Temperatur, und wenn die Luft fast gänzlich mit Wasserdämpfen gesättigt ist, der Zug der Essen weit geringer sein muß, als bei kalter und trockener Luft, wobei der Barometerstand stets ein bedeutender ist.

Man hat dies auch in allen Hütten beobachtet; bei warmem und feuchtem Wetter haben die Oefen nur einen geringen Zug. Der Einfluß auf die Verbrennungsapparate ist alsdann derselbe wie der der Athmungsorgane, und es muß dies auch sein, denn die Erscheinungen beider haben die größte Aehnlichkeit. Die auf die Oefen hervorgebrachte Wirkung ist alsdann von der Art, daß man in den meisten Glashütten im Sommer den Betrieb einstellen muß, und dies ist auch in anderen Hütten und Fabriken der Fall, in denen man nicht den Zug steigern kann, wie es die atmosphärischen Zustände erfordern.

547. Es giebt übrigens in Beziehung auf die Feuchtigkeit der Luft einige Thatsachen, die mit dem Gesagten im Widerspruch zu stehen scheinen. Man hat Wasserdampf mit der Luft in die Oefen geführt und hat bemerkt, daß dadurch die Verbrennung sehr lebhaft werde und den schlummernden Verbrennungen, die in feuchtem Wetter stattfinden, durchaus nicht gleiche. Der Grund dieses Unterschiedes scheint nur daher zu rühren, daß in den fraglichen Apparaten ein sehr starker Zug vorhanden ist, der die aus der Vermengung des Dampfes mit der Luft hervorgehende Wirkung ausgleicht; denn es ist festgestellt, daß man mit einer zweckmäßigen Steigerung des Zuges stets die durch die schädlichen atmosphärischen Einflüsse, von denen wir geredet haben, herrührenden Wirkungen aufheben kann.

Einfluß der Sonnenstrahlen.

548. Wenn die Sonnenstrahlen in eine Esse dringen, die nur eine geringe Temperatur hat, wie z. B. in die Röhren der Wohnungsschornsteine, so wird, wie die Erfahrung hinlänglich bewiesen hat, der Rauch zurückgedrängt. Es ist wahrscheinlich, daß diese Wirkung daher rührt, daß die benachbarten Körper, hauptsächlich die Dächer, stark erhitzt waren und daher Veranlassung zu warmen Luftströmen von unten nach oben und folglich auch von solchen Strömen gaben, die in entgegengesetzter Richtung über den minder erhitzten Körpern entstehen, und daher auch um die Essenröhren. Man vermeidet diese Wirkungen dadurch, wenn man die Essenröhren mit Kappen von gebranntem Thon oder von Metall versieht.

Siebentes Capitel.

Apparate, welche den Zweck haben, den Zug der Essen gegen den Einfluß des Windes und des Regens zu schützen.

Apparate für die oberen Essenöffnungen.

549. Die in Vorschlag gebrachten Apparate sind sehr zahlreich, und es können daher hier nur die wichtigsten beschrieben werden. Es können diese Apparate in zwei Klassen getheilt werden, nämlich in die feststehenden und in die beweglichen.

550. Feste Apparate. — Bei den meisten Hausschornsteinen begnügt man sich damit, die obere Oeffnung der Essen mittelst einer konischen Röhre zu verengen; auf diese Weise steigert man die Ausflußgeschwindigkeit des Rauches und vermindert die Möglichkeit seines Zurückdrängens durch die Winde. Häufig bringt man über der Ausflußöffnung zwei geneigte Ziegel an, welche dieselbe vollständig bedecken, und den Rauch in zwei entgegengesetzten Richtungen entweichen lassen; die Ziegel sind so gestellt, daß sie die Wirkung der herrschenden Winde aufnehmen. Am Häufigsten sind aber die Schornsteinröhren von blechernen Röhren überragt, die mit verschieden eingerichteten Apparaten, sogen. Hauben versehen sind.

Die einfachste Vorrichtung besteht in einer gekrümmten Blechtafel Fig. 86, durch welche man den Einfluß des Windes vermindert, wenigstens wenn der Cylinder hinlänglich verlängert ist. Zuweilen bringt man an jedes Ende des Cylinders und in einer zweckmäßigen Entfernung zweckmäßige Blechplatten an, wie Fig. 87 zeigt. Fig. 88 stellt eine andere Einrichtung dar; die Schornsteinröhre ist mit einer kegel= oder kugelförmigen Haube bedeckt, deren untere Ränder unter den oberen der Röhre sich befinden; es ist diese Vorrichtung sehr wirksam.

Die in den Figg. 89, 90, 91 und 92 dargestellten Figuren heben gleichfalls den Einfluß der Winde auf; es sind aber die Figuren so deutlich, daß jede weitere Erklärung unnöthig ist.

551. Millet hat eine Haube construirt, die aus einer am obern Ende geschlossenen blechernen Trommel besteht, welche unten mit der Rauchröhre und mit einer großen Anzahl quadratischer Oeffnungen in Verbindung steht, die von innen nach außen gehen, und deren Bärte kleine abgestumpfte Pyramiden bilden, welche über der äußern Oberfläche hervorstehen. Es wurde diese Haube auf einer Ofenröhre angebracht, in welcher man feuchtes Stroh verbrannte, und die in verschiedenen Richtungen einen sehr heftigen Luftstrom aufnahm, der mit einem Centrifugal=Ventilator hervorgebracht wurde; niemals aber wurde der Rauch durch die Ofenröhre zurückgetrieben. Die Wirksamkeit dieser Haube kommt wahrscheinlich von den sogen. Bärten her, welche sich rings um den Oeffnungen bilden, und welche das Eindringen der Luft in die Trommel verhindern. Man müßte dieser Haube den Vorzug vor allen anderen geben, wenn sie nicht den großen Nachtheil hätte, häufig gereinigt

werden zu müssen; die von dem Rauch mitgeführten festen Substanzen bilden in dem Innern dünne Rinden, die wie Spinngewebe die Oeffnungen sehr bald verschließen.

Der in den Figg. 93 und 94 abgebildete und jetzt sehr häufig angewendete Apparat hat viel Aehnlichkeit mit der Millet'schen Haube. Der Apparat besteht aus einem senkrechten Cylinder, der am obern Theil geschlossen und seitwärts mit vielen, mit der Achse parallel laufenden Spalten versehen ist, dessen senkrechte Ränder äußerlich Vorsprünge haben, und zwar in der Art, daß sie convergirende Ansätze bilden, wie bei der Millet'schen Haube. Zuweilen ist die Röhre von einem concentrischen, an beiden Enden offenen Cylinder umgeben. Die Fig. 94 stellt einen Querdurchschnitt durch a b der innern Röhre dar.

Alle über den Essen angebrachten Apparate bestehen aus Blech; sie haben den großen Nachtheil, daß sie schnell rosten und daß sie die äußeren Mauern durch den Regen, der ihre Oberfläche berührt hat, beschmuzen. Man kann jedoch diesen doppelten Nachtheil verhindern, wenn man die Apparate mit einem glänzenden Firniß überzieht, den man jetzt mit gutem Erfolg zum Ueberzug der Zimmeröfen und im Allgemeinen bei den Blechröhren anwendet.

552. Bewegliche Apparate. — Wir wollen jetzt die beweglichen Apparate untersuchen, die sämmtlich den Zweck haben, die Ausflußöffnung nach der dem Winde entgegengesetzten Seite zu richten, so daß der Rauch dieselbe Richtung erhält; alsdann widersetzt sich der Wind nicht allein dem Ausströmen des Rauches nicht, sondern er befördert auch, wie wir (539) sahen, den Zug, sobald seine Geschwindigkeit größer als die des Rauches ist.

553. Der am Häufigsten angewendete Apparat ist in Fig. 95 dargestellt. Die Esse endigt in einer cylindrischen Blechröhre, die von einer andern Röhre umgeben und um ihre Achse beweglich, am obern Theil geschlossen und rechtwinkelig gebogen ist. Der obere Theil des Muffs ist mit einer Windfahne versehen, die auf der Ausflußröhre befestigt ist.

Man hat an diesem Apparate eine Veränderung angebracht, die unter gewissen Verhältnissen vortheilhaft sein kann und in Fig. 96 dargestellt worden ist. Durch die Ausflußröhre geht eine concentrische Röhre von concentrischem Durchmesser und von einer geringen Länge, die nach außen zu in einem Trichter ausläuft. Es ist nun klar, daß die durch die Röhren eindringende Luft die Geschwindigkeit zu vermehren sucht, wenn die Geschwindigkeit der Luft größer als die des Rauches ist.

554. Die Fig. 97 stellt eine andere, ebenfalls sehr wirksame Vorrichtung dar. Die Kaminröhre ist an ihrem obern Ende mit einem blechernen Kegel versehen, durch dessen Scheitel eine feste Stange geht; eine Mutterschraube und eine Verstärkung an der Stange halten den Kegel in einer gewissen Höhe, und ein zweckmäßiges Spiel gestattet ihm, sich auf irgend eine Kante der Rauchröhre aufzulegen; mittelst eines über dem Kegel angebrachten metallenen Ringes endlich wird sein Schwerpunkt auf den Scheitel zurückgeführt. Es erfolgt aus dieser Vorrichtung, daß wenn der Wind eine horizontale Richtung hat oder wenn er mehr oder weniger von oben nach unten gerichtet ist, er den Kegel auf die eine Kante der Essenhaube auflegt, so daß der Rauch auf der entgegengesetzten Seite ausströmt.

555. Wenn die heftigen Winde, welche Einfluß auf den Zug haben können, stets gleiche Richtung haben, so kann man die in Fig. 98 angege-

bene sehr einfache Vorrichtung benutzen. Dieselbe besteht aus einer um eine horizontale Spindel beweglichen eisernen Platte, die sich um in den Essenwänden liegende Zapfen dreht, und die nach der einen oder der andern Richtung der Windgeschwindigkeit schwankt.

Man hat auch Hauben von zwei, vier, sechs oder acht Seiten (Fig. 99) vorgeschlagen, die oben verschlossen sind und auf jeder Seite eine mit einer Thür versehene Oeffnung haben. Diese Thüren sind mit horizontalen Charnieren versehen, die oben angebracht sind, auch haben sie ein Gegengewicht, welches den Zweck hat, den Schwerpunkt einer jeden Thür in die Drehungsachse zu legen. Diese Thüren sind auch zu zweien mit gegliederten Stangen versehen, so daß, wenn die eine verschlossen, die entgegengesetzte geöffnet wird.

Man hat auch Laternen mit vier, sechs und acht Flächen angewendet, und diese mit Jalousien versehen, die man durch Stangen, welche mit dem Boden in Verbindung stehen, leicht schließen oder öffnen kann.

556. Die beweglichen Apparate, Figg. 95 und 96, würden offenbar die zweckmäßigsten von allen sein, wenn man ihnen eine vollständige Beweglichkeit in den Muff geben könnte; da aber die Reibung stets bedeutend ist, so ist es bei schwachem Winde häufig der Fall, daß die Seitenöffnung nach der Seite des Windes gerichtet ist, und daß folglich der Rauch in den Heerd zurückgedrängt wird. Es kommt dieser Fall um so häufiger vor, als in dieser Stellung der Wind keine Einwirkung auf die Fahne hat. Das Gleichgewicht ist zu unsicher, und sobald die Fahne in Unordnung gerathen ist, so kann sie nicht leicht wieder in die richtige Stellung zurückkommen; man begreift aber leicht, daß die Reibung bei sehr schwachen Winden sie selbst unter einem großen Winkel festhalten kann.

Die Apparate Figg. 97 und 99 haben den angegebenen Nachtheil nicht; wenn sie dem Einfluß des Windes nicht folgen, so braucht der Rauch nicht nothwendig zurückgedrängt zu werden, allein sie sind nur dann wirksam, wenn der Wind horizontal oder von oben nach unten gerichtet ist. Hätte er eine Richtung von unten nach oben, so würde durch die Einrichtung des Apparats selbst die äußere Luft in die Esse dringen und einen nachtheiligen Einfluß auf den Zug haben.

557. Kurz, die beweglichen Apparate sind stets verwickelt; ihre Wirksamkeit ist nicht unter allen Umständen gesichert, und es haben die festen Apparate stets den Vorzug. Bei den großen Zug- oder Ventilirungsessen, in denen man selten eine größere Geschwindigkeit als zwei Meter in der Secunde hat, begnügt man sich damit, den obern Theil der Esse zu verschließen und darunter eine große Anzahl länglich viereckiger Oeffnungen anzubringen, deren gesammte Oberfläche gleich dem zwei- oder dreifachen Essenquerschnitt ist, und niemals hat man eine wesentliche Veränderung des Zuges durch Einwirkung von Winden gefunden.

Diese Apparate werden stets von Blech construirt, indem dies das zweckmäßigste Material dazu ist, allein sie würden von geringer Dauer sein, wenn man nicht die nöthigen Vorsichtsmaßregeln anwendete, um das Rosten des Eisens zu vermeiden. Man hat zu dem Ende verschiedene Mittel angewendet: man hat sich des galvanisirten Eisens bedient, man hat auch die Apparate mit Theer überzogen, der bei einer Temperatnr von 200°

der Luft sehr gut widersteht; am Zweckmäßigsten ist aber ein guter Lack, der das Blech am Besten gegen die Einwirkungen der Atmosphäre schützt.

Apparate für die Luftzuführungscanäle.

558. Da die Winde nur selten von unten nach oben gerichtet sind, und da die Luft, welche die Roste speist, an offenen Orten oder durch eine horizontale Oeffnung, die in der Sohle angebracht ist, und durch einen Canal mit dem Rost in Verbindung steht, bewirkt wird; so wird dieser letztere niemals durch die Winde, sei ihre Richtung welche sie wolle, beeinflußt werden. Macht man nun den Canal recht weit, so daß die Geschwindigkeit der Luft in demselben sehr gering ist, so werden die Widerstände den Zug nicht wesentlich verändern.

559. Unter gewissen Umständen kann man den Kanal zur Einführung der Luft zum Rost so vorrichten, daß der Wind den Zug befördert. Es ist zu dem Ende offenbar hinreichend, die Luft in der Sohle aufzufangen und die Oeffnung mit einer unter 45° geneigten, um die Oeffnung beweglichen Klappe zu versehen, um sie dem Winde entgegensetzen zu können. Der Verfasser hat wiederholt Gelegenheit gehabt, diese Vorrichtung bei Apparaten anzubringen, deren Zug durch die Winde, welche eine entgegengesetzte Richtung von der Bewegung der Luft in dem Heerde hatten, fast gänzlich unwirksam machte, und es sind diese Vorrichtungen stets gelungen.

560. Man kann auch den Wind dazu benutzen, um ähnliche Apparate, wie die für die Haube der Essen beschriebenen, anzuwenden. Der einfachste bewegliche Apparat ist in Fig. 100 dargestellt. Er besteht aus einer beweglichen eisernen Haube, die mit einer Windfahne von solcher Einrichtung versehen ist, daß die Haube dem Winde stets ihre Oeffnung darbietet, damit er von dem Canal aufgefangen werde.

Achtes Capitel.

Apparate zum Messen des Zuges.

561. Die Kenntniß von der Temperatur der Luft in den Essen kann in sehr vielen Fällen von Wichtigkeit sein; in allen giebt sie einen annähernden Werth von dem Wärmeverlust, wenn man zu gleicher Zeit den Brennmaterialverbrauch oder die Ausströmungsgeschwindigkeit kennt, und da bei den Essen, welche die äußere Luft direct ansaugen, der Widerstand in den Canälen constant ist, so steht die Ausströmungsgeschwindigkeit im Verhältniß der Quadratwurzel des Temperaturüberschusses der Esse zu der der äußern Luft. Wenn nun die Ausströmungsgeschwindigkeit für einen gewissen Temperaturüberschuß bekannt ist, so kann man sie leicht für jeden andern berechnen.

562. Um die Temperatur der Luft in einer Esse zu beobachten, kann man sich, wenn sie unter 100° ist, eines Wasserthermometers bedienen, dessen Behälter aus einer großen Anzahl kleiner Röhren von Kupfer oder Weißblech besteht, die horizontal um eine mittlere senkrechte Röhre angebracht sind, und die mit einer Röhre von sehr geringem Durchmesser mit der außerhalb der Esse angebrachten Glasröhre des Thermometers in Verbindung steht. Der Apparat müßte graduirt sein, indem er eine gewisse Anzahl von Punkten durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer erlangt. Es würde diese Einrichtung den Vortheil haben, die mittlere Temperatur der Luft in der Esse anzugeben, und da der Behälter eine große Oberfläche haben würde, so könnte das Instrument sehr empfindlich in Beziehung auf die Zeit gemacht werden, die es anwenden würde, um sich ins Gleichgewicht mit der Temperatur der umgebenden Luft zu setzen. Es würde aber dieser Apparat von der Strahlung der Essenwände beeinflußt werden, so daß, wenn die Temperatur der Luft sich plötzlich verminderte, während dies bei den Wänden nur langsam der Fall sein könnte, das Instrument eine weit höhere Temperatur angeben würde, als die der Luft ist. Man könnte diesen Nachtheil dadurch vermeiden, daß der Röhrenbehälter von polirtem Metallblech angefertigt und senkrecht auf einen Theil ihrer Länge angebracht würde, und daß man das Röhrenbündel mit mehreren senkrechten concentrischen Röhren umgäbe, die ebenfalls aus polirtem Metall beständen und an beiden Enden offen wären. Es würde aber dieser an einer Ventilirungsesse angebrachte Apparat den wesentlichen Nachtheil haben, daß der Heizer seinen Platz verlassen müßte, um dieses und das außerhalb angebrachte Thermometer zu beobachten.

563. Die nachstehende Vorrichtung würde weit vorzuziehen sein, weil der Apparat in der Nähe des Heizers angebracht werden könnte, der in jedem Augenblick auf einer Scala die Beschaffenheit der Ventilirung abzulesen im Stande sein würde, und sie mittelst des Registers zum Einströmen der Luft in den Aschenfall reguliren könnte. Auch würde dieser Apparat es nicht voraussetzen, daß die Temperatur der Luft in der Esse unter 100° betrüge.

Der fragliche Apparat besteht aus zwei verlängerten Cylindern von dünnem Kupferblech, an beiden Enden verschlossen und senkrecht, wovon der eine in der Esse, der andere außerhalb angebracht würde. Beide sind mit Wasser unter dem gewöhnlichen Druck angefüllt und stehen durch Metallröhren von sehr geringem Durchmesser mit den beiden Enden eines Wassermanometers in Verbindung; der letztere besteht aus zwei parallelen Glasröhren, die sich unter den Augen des Heizers befinden. Die Gefäße, die Röhren und die Verbindungen mit den Enden des Manometers müssen vollkommen dicht sein. So lange als die Luft in der Esse die äußere Temperatur hat, muß die Flüssigkeit in den beiden Schenkeln des Manometers gleiche Höhe haben; wird aber die Luft der Esse wärmer als die äußere, so erfolgt in dem Manometerschenkel, welcher dem Gefäß in der Esse entspricht, eine Senkung. Nimmt man an, daß die Volumina der Gefäße in Beziehung auf die Röhrenvolumina sehr groß sind, und läßt man die Ausdehnung der Gefäße unberücksichtigt, so wird der Druck der beiden Seiten durch die Ausdehnung der Gase, wenn sie sich frei ausdehnen können, repräsentirt. Es wird demnach von der Seite der Esse der Druck $P\ (1 + at)$ und in der andern wird er $P\ (1 + a\Theta)$ sein, und die Differenz, welche durch

das Manometer gemessen, wird gleich sein P a (t—Θ). Da P den atmosphärischen Druck im Wasser darstellt, so wird die manometrische Depression gleich 10,33 M. • 0,00365 (t — Θ) = 0,0377 M. (t — Θ) sein. Er wird demnach für jeden Differenzgrad 3,77 Centimeter betragen. Nimmt man an, daß sich die Temperaturdifferenz bis 50 Grad erheben könne, so würde der Niveau-Unterschied höchstens 1,88 M. betragen. Es müßte daher das Manometer 2 M. Höhe haben und die Flüssigkeit müßte bei gleichem Druck die Hälfte eines jeden Schenkels füllen. Wenn man ein Quecksilbermanometer benutzte, so würde die Depression für eine Differenz von 1^0 sein 0,76 • 0,00365 = 0,00277 M. Für Unterschiede von 50^0 in maximo verdienen die Wassermanometer den Vorzug.

Wenn man für einen bekannten Werth von t — Θ die Ventilation in der Stunde bestimmt hätte, so könnte die Scala die Ventilationen angeben, welche den Angaben des Differenzial-Thermometers entsprechen, denn es sind diese Ventilationen wesentlich proportional den Quadratwurzeln von t—Θ. Da in allen Fällen der normale Druck erhalten werden muß, so würde der Heizer leicht dahin gelangen, das Register des Rostes so zu reguliren, daß t—Θ wesentlich constant bleibt.

Damit die beiden Luftreservoire die Temperatur der umgebenden Luft recht schnell annehmen, wird es vortheilhaft sein, sie aus einem Röhrenbündel bestehen zu lassen, die unter einander in Verbindung stehen und von einer oder zwei an beiden Enden offenen Röhren umgeben sind, welche eine hinreichende Entfernung von einander haben, um sich in den Zwischenräumen leicht bewegen zu können; in allen Fällen müßte der äußere Behälter im Schatten und im Schutze gegen die Strahlung der von der Sonne erwärmten Oberfläche angebracht werden.

564. Alles hier Gesagte bezieht sich nur auf die Ventilirungsessen, in welche die äußere Luft eintritt, ohne daß man ihre Temperatur erhöht. In den Fällen, in denen die angesaugte Luft eine höhere, wesentlich constante Temperatur hat, wie in den Hospitälern, den Gefängnissen u. s. w., ist die Ventilation nicht mehr proportional der Quadratwurzel des Ueberschusses der Windtemperatur in der Esse über die äußere Luft. Die Messung der Ventilation durch die Temperaturen wird alsdann verwickelter, allein es ist dies eine Frage, auf welche wir im dritten Bande bei der Ventilirung öffentlicher Gebäude zurückkommen werden.

565. Wenn sich die Temperatur der Luft in der Esse in der Nähe von 300^0 befände, wie dies in den meisten Generatorenessen der Fall ist, so würde dasselbe Verfahren bei der Messung des innern Temperatur-Ueberschusses über die äußere Temperatur noch anwendbar sein. Der warme Luftbehälter müßte aber von Eisen sein, einen kleinen Durchmesser, eine große Länge und eine hinreichende Dicke haben, um dem Drucke zu widerstehen, denn bei einer Temperatur von 300^0 beträgt der aus der Erwärmung der Luft folgende Druck 2,1 Atmosphären. Auch müßte das Manometer mit Quecksilber gefüllt sein, damit sein Lauf nicht zu groß wäre.

566. Man könnte auch für hohe Temperaturen, jedoch unter 360^0, ein Quecksilberthermometer anwenden, dessen langer eiserner Behälter in der Esse angebracht wäre, während sich die ebenfalls eiserne Röhre außerhalb befände; der Stand des Quecksilbers müßte durch einen Schwimmer ange-

geben werden. In jedem besondern Fall würde das Volumen des Quecksilbers leicht zu bestimmen sein. Nehmen wir z. B. an, daß die Röhre 5 Millimeter Durchmesser habe, so würde der Querschnitt 0,001962 Quadratdecimeter betragen. Nimmt man nun an, daß der Lauf des Index auf 300° 1 M. betrage, so wird die Zunahme des Volums von dem Quecksilber 0,01962 sein. Da die absolute Ausdehnung des Quecksilbers von 0 bis 100° gleich 0,0180 ist, die des Eisens 0,0012, so wird die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in dem Eisen sein 0,018 — 0,012 = 0,0168; für 300° wird sie sein 0,0504 und folglich wird das Volum des Behälters $\frac{0,0196}{0,0504} = 0,38$ Kubikdecimeter sein; das Gewicht des Quecksilbers würde alsdann 0,36 • 13,6 = 5,21 Kilogr. sein. Für kleinere Temperaturüberschüsse würde das Quecksilberthermometer nicht zweckmäßig sein, weil der Lauf zu gering wäre, oder man zu viel Quecksilber anwenden müßte. In allen Fällen scheint das Luftdifferenzialthermometer den Vorzug zu verdienen.

Viertes Buch.

Bewegungen der Luft durch Maschinen oder durch Dampfströme hervorgebracht.

Erstes Capitel.

Allgemeine Betrachtungen über die Ventilationsapparate.

567. Die Wirkung einer Esse besteht, wie wir schon gesagt haben, darin, am Ende des Canals, mit welchem sie in Verbindung steht, ein gewisses Luftvolum anzusaugen, die Luft in dem Canale circuliren zu lassen und sie durch eine obere Oeffnung mehr oder weniger verändert, oder mehr oder weniger erwärmt, nach außen zu treiben.

Diese Wirkung, die aus der steigenden Kraft der warmen Luft hervorgeht, und welche eine hohe Temperatur der Luft bei ihrem Eintritt in die Esse bedingt, könnte offenbar durch eine directe mechanische Wirkung oder mittelst Pumpen, Ventilatoren oder irgend welchen Gebläsen hervorgebracht werden, die an einem von den Enden oder an jedem andern Punkte der Canäle angebracht sind.

568. Die von den Essen veranlaßten Bewegungen der Gase erfordern viel Brennmaterial; so beträgt in den Dampfkesselöfen der Verbrauch für das Ansaugen der Luft zum Rost etwa ein Viertel von dem ganzen Brennmaterialverbrauch. Könnte man nun die verbrannte Luft, wenn sie auf 300° abgekühlt ist, benutzen, und wenn zu gleicher Zeit der mechanische Zug weniger kostet als der durch die Wärme veranlaßte, so würde es vortheilhaft sein, das erste Mittel anzuwenden. Nun kann man in einigen Fällen die entweichende Wärme benutzen, und wir werden sehen, daß der mechanische Zug weit weniger kostet als der Zug der Essen. Es sollen zuvörderst zwei Versuche mitgetheilt werden, welche diese Thatsachen verdeutlichen.

569. In einem an der Seine angelegten Bade vertheilt sich der Rauch, nachdem er den Warmwasserkessel umspült hat, in zwölf Röhren von geringem Durchmesser und 20 Meter Länge, die zusammen einen Quer=

schnitt von ,100 Q. M. haben und in dem Kaltwasserbehälter befindlich sind. Durch diese Circulation kühlt sich der Dampf fast vollständig ab und bei seinem Eintritt in die Esse hat er im Wesentlichen die Temperatur des Wassers im Behälter. Am Ende der Canäle befindet sich ein Ventilator, der den Rauch ansaugt und ihn in die Esse wirft. Die Trommel des Ventilators hat 0,80 M. Durchmesser und 0,40 M. Breite; die Ausströmungsröhre hat 0,20 M. Durchmesser; die Flügel machen 40 Umläufe in der Minute, und die Maschine wird von einem einzigen Menschen in Bewegung gesetzt. Aus mehreren Versuchen folgt, daß man mit dieser mechanischen Arbeit in zwei Stunden 0,44 Stèren geschältes Holz, von denen die Stère 390 Kilogr. wog, verbrannt hat, so daß auf die Stunde 85 Kilogr. kommen. Da man annimmt, daß 1 Kilogr. Holz gleich 0,5 Kilogramm Steinkohle sei, wenigstens für die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge, was sich nicht weit von der Wahrheit entfernt, so würde die Kraft eines Menschen zur Verbrennung von 42 Kilogr. Steinkohle unter den ungünstigsten Umständen hinreichen, weil der Rauch in Röhren von kleinem Durchmesser und großer Länge eintritt. Es würde nun der Zug durch die Röhre $\frac{42}{4}$ Kilogr. = 10,5 Kilogr. Steinkohle kosten, was der Kraft von 2,5 Dampfpferden entspricht; da aber 1 Pferdekraft 7 Menschenkräften gleich ist, so folgt daraus, daß der durch einen einzigen Menschen bewirkte mechanische Zug wirklich 17 Menschenkräfte kostet, wenn er durch Luftwärme in einer gewöhnlichen Esse hervorgebracht wird, in welche der Rauch von einer Esse mit einer Temperatur von 300° einströmt. Dieser Zug wird daher sehr vortheilhaft bewirkt, ohnerachtet der großen Steigerung des Widerstandes, der von der Reibung der Luft in den unter dem Wasser befindlichen Röhren herrührt, ein Widerstand, der dem gleich ist, den eine einzige Röhre von 68,50 M. Länge und 0,10 M. Durchmesser veranlassen würde, wovon man sich durch eine sehr einfache Berechnung überzeugen kann.

570. In der belgischen Brauerei zu Löwen reicht ein Ventilator, der eine mechanische Arbeit von sechs Pferden benutzt, dazu hin, um Oefen mit Luft zu speisen, in denen man in der Stunde 100 Kilogr. Steinkohlen verbrennt, was beinahe der Verbrauch einer Dampfmaschine von 200 Pferdekräften ist. Demnach ist in dieser Brauerei die Kraft von sechs Pferden gleich der Leistung der warmen Luft in einer warmen Esse, die wenigstens 250 Kilogr. Steinkohlen erfordert, welche 50 Pferdekräften entsprechen.

In Folge dieser Thatsachen darf man nicht daran zweifeln, daß es in Beziehung auf Brennmaterialersparung sehr vortheilhaft ist, den Zug durch warme Luft durch eine mechanische Wirkung zu ersetzen, ohnerachtet der Zunahme des Widerstandes, den die vollständige Abkühlung des Rauches mit sich führt.

571. Wir wollen nun jetzt auf eine allgemeine Weise das Verhältniß zwischen der Leistung der warmen Luft, die sich in einer warmen Esse erhebt und der Arbeit bestimmen, die man durch den Dampf hervorbringen kann, welcher mittelst der im Rauche eingeschlossenen Wärme erzeugt werden könnte.

Bekanntlich verbraucht 1 Pferdekraft im Durchschnitt 4 Kilogr. Steinkohlen in der Stunde oder 4 · 8000 = 32,000 Wärmeeinheiten, und in der Secunde $\frac{32,000}{3600} = 8,88$; da nun die Arbeit eines Dampfpferdes

75 Kilogrammmeter ist, so verbraucht 1 Kilogrammmeter $\frac{8,88}{75} = 0,118$ Wärmeeinheiten. Dieses angenommen, beträgt die Menge der durch eine Esse verlorenen Wärme $\frac{pt}{4}$, wobei p das Gewicht der Luft darstellt, welches in der Secunde ausströmt und t den Ueberschuß der Temperatur der warmen Luft über die äußere Temperatur; die Anzahl der Kilogrammmeter, die diese Wärme hervorbringen könnte, würde daher sein:

$$\frac{pt}{4} \cdot \frac{1}{0,118} = \frac{pt}{0,472} = 2,118\,pt \ldots\ldots (1)$$

Die durch eine Esse producirte Arbeit muß ohne Berücksichtigung der Widerstände genommen werden, denn das Ansaugen der äußern Luft, wie es auch bewirkt werden möchte, würde dieselben Widerstände zu überwinden haben; es ist demnach die Arbeit einer Esse gleich:

$$\frac{pv^2}{2g} = p\,\frac{2gHat}{1+at} \cdot \frac{1}{2g} = p\,\frac{Hat}{1+at} \ldots\ldots (2)$$

und das Verhältniß der beiden Ausdrücke (1) und (2), d. h. der Arbeit, welche durch die verlorene Wärme hervorgebracht werden könnte, zu der effectiven Arbeit ist gleich:

$$2,118\,pt \cdot \frac{1+at}{pHat} = \frac{2,118\,(1+at)}{aH} \ldots\ldots (3)$$

Nimmt man t gleich 300°, H gleich 20 M., so wird dieses Verhältniß 60,7. Wenn man daher den Rauch einer Esse mit Nutzen abkühlen kann, so ist es sehr vortheilhaft, den durch die warme Luft veranlaßten Zug durch einen mechanischen zu ersetzen. Wirklich erfordert die Abkühlung des Rauches längere Canäle, und der Ventilator, sei seine Beschaffenheit welche sie wolle, kann niemals alle ihm mitgetheilte Arbeit wiedergeben. Allein alle diese Verluste sind weit entfernt, die Zahl 60,7 zu geben, die wir bei den vorhergehenden Betrachtungen erreicht haben.

572. Bei dem angestellten Calcul haben wir angenommen, daß die Dampfmaschine auf die Pferdekraft und in der Stunde 4 Kilogr. Steinkohlen verbrauche; allein man construirt deren, die weit weniger bedürfen; der Vortheil des mechanischen Zuges würde alsdann weit größer sein. Es muß noch hinzugefügt werden, daß, wenn man Hochdruckmaschinen mit Expansion und ohne Expansion anwendet, und man den expandirten Dampf benutzen kann, der Betrieb der Maschinen wirklich nur die Differenz zwischen der Wärmemenge in dem verdichteten und in dem expandirten Dampfe kostet. Nach Herrn Regnault beträgt die gesammte Wärme des Dampfes von 5 Atmosphären und bei 1 Atmosphäre 653 und 637 Wärmeeinheiten, und es beträgt folglich die durch die Maschine verlorene Wärme nur vier Hunderttheile von der, welche der Dampf durch seine Bildung absorbirt hatte.

573. Es muß aber bemerkt werden, daß der Vortheil der mechanischen Apparate nicht mehr so theuer ist, wenn die Arbeit durch Dampf bewirkt wird; sie würde weit theurer sein, wenn sie durch Menschenkräfte bewirkt werden sollte. Wirklich kostet die Arbeit einer Pferdekraft 4 Kilogr.

Steinkohlen in der Stunde oder 40 Kilogr. in 10 Stunden oder höchstens 2 Francs nach den Pariser Kohlenpreisen. Da nun 1 Pferdekraft 7 Menschenkräften gleich ist, so folgt daraus, daß die Kraft eines Menschen in Dampfkräften etwa 30 Centimes kostet, während das Tagelohn etwa 2 Frcs. beträgt. Da aber nothwendig zwei Menschen zu der Leistung erforderlich wären, weil ein Mensch nicht 10 Stunden ununterbrochen hinter einander arbeiten kann, so müßte man die Leistung dem Gelde nach wenigstens auf 4 Frcs. bestimmen, und es würde demnach die Menschenkraft 14 mal theurer sein als die Dampfkraft. Nach den vorhergehenden Zahlen würde die Arbeit eines Menschen wenigstens in Paris eben soviel als 2 Pferdekräfte kosten.

Die Maschine muß offenbar außer der hinreichenden Kraft, um die Esse zu ersetzen, auch außerdem noch so viel Kraft haben, um die Reibung in dem Apparate zu überwinden, in welchem die Wärme benutzt werden müßte. In allen sich darbietenden Fällen wird es aber leicht sein, die erforderliche Kraft zu bestimmen, wenn man die im zweiten Buche angegebenen Formeln anwendet.

574. Die zur Hervorbringung der Bewegungen der Luft angewendeten Maschinen sind sehr zahlreich; hier sollen jedoch nur diejenigen beschrieben werden, die am Allgemeinsten in Gebrauch sind, wobei hauptsächlich die Nutzeffecte berücksichtigt werden sollen. Genau genommen erscheint die Beschreibung dieser Maschinen dem vorliegenden Werke fremd zu sein; da man aber oft die Vortheile und Nachtheile der Anwendung der Wärme und der die Ventilation hervorbringenden Maschinen unter verschiedenen Verhältnissen zu untersuchen hat, so ist die Untersuchung der mechanischen Apparate zur Hervorbringung der Luftbewegung genau mit dem Studium der Wärme verbunden.

Ehe wir zur Beschreibung der Apparate übergehen, müssen wir bei einem allgemeinen auf alle anzuwendenden Prinzipe, welches einen großen Einfluß auf den Nutzeffect hat, stehen bleiben. Dieses Prinzip bezieht sich auf den Querschnitt des Canales, auf den der Apparat einwirkt.

575. Wir wollen als Beispiel einen langen Canal von einem Durchmesser D nehmen, durch den man eine gewisse Menge äußerer Luft mittelst einer Maschine ansaugen will, die auf eine Oeffnung einwirkt, welche nach einer ersten Einrichtung den Durchmesser D und nach einer zweiten den Durchmesser d hat; es wird in Beziehung auf die verbrauchte Kraft Alles so vor sich gehen, als wenn die Luft im Anfang der Leitung durch einen Luftdruck verdichtet wäre, der im erstern Falle durch P und im zweiten durch P_1 ausgedrückt wird, wenigstens wenn man die Dichtigkeitsveränderungen der verdichteten oder ausgedehnten Luft unberücksichtigt läßt, welches möglich ist, wenn die Geschwindigkeiten nur dem Drucke von einigen Centimetern Wasser entsprechen. Bezeichnet man mit p und p_1 den den Ausströmungsgeschwindigkeiten am Ende der Leitung entsprechenden Druck, mit Q und Q_1 die in der Secunde ausgeströmten Luftmengen und mit R die Summe der Widerstände, welche die Leitung darbietet, so würde man im ersten Falle haben:

$$P - p = Rp\,;\; p = \frac{P}{1 + R}\,;\;\text{ oder } Q = \frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{2gP}{1 + R}}\,;$$

und in dem zweiten Falle

$$P_1 - p_1 = R p_1 \cdot \frac{d^4}{D^4}; \; p_1 = \frac{P_1}{1+R\frac{d^4}{D^4}}; \text{ oder } Q_1 = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2 g P_1}{1+R\frac{d^4}{D^4}}}.$$

Und da die Volumina gleich sein müssen, so wird man haben

$$\frac{D^4 \cdot P}{1+R} = \frac{d^4 P_1}{1+R\frac{d^4}{D^4}}; \text{ daher } P_1 = P\frac{D^4}{d^4} \cdot \frac{1+R\frac{d^4}{D^4}}{1+R}.$$

576. Man ersieht aus dieser letztern Formel, daß der Werth von P_1 in dem Maße schnell zunimmt, als d sich vermindert und da die Arbeit gleich dem Producte des Druckes durch das in einer Secunde ausgeströmte Gewicht der Luft ist, so folgt daraus, daß die verbrauchte Arbeit proportional ist P_1. Wenn man z. B. R = 10 M., D = 2 M., d = 0,5 M. hätte, so würde man finden

$$P_1 = P \cdot 256 \frac{1 + 10 \cdot 0{,}0039}{11} = P \cdot 256 \cdot 0{,}094 = P \cdot 24{,}06.$$

577. Es folgt daraus, daß diese Zunahme des Druckes und folglich der Arbeit eben so gut bei einer Esse als bei einer Maschine stattfinden wird.

578. Wenn die Oeffnung, auf welche die Maschine oder die Esse einwirkt, einen weit größern Querschnitt als die Röhre hat, durch welche das Ansaugen erfolgt, und man die Ausdehnung unberücksichtigt läßt, die von der Zunahme des Querschnittes herrührt, wenn man endlich dieselben Bemerkungen gelten läßt, so würde man haben

$$P_1 - p_1 = R\frac{d^4}{D^4} p_1 + p_1\left(\frac{d^4}{D^4} - 1\right); \quad p_1 = \frac{P_1}{(1+R)\frac{d^4}{D^4}};$$

$$Q_1 = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2 g P_1}{(1+R)\frac{d^4}{D^4}}},$$

und folglich $P_1 = P$. Man würde daher durch Vergrößerung des Querschnittes Nichts gewinnen, wenigstens wenn man nicht die Ausdehnung, die sich in Folge der Querschnittsvergrößerung entsteht; allein es würde diese Ausdehnung unter gewissen Verhältnissen eine wesentliche Zunahme des Druckes veranlassen und könnte daher nicht unberücksichtigt bleiben.

579. Wenn die Maschine blasend statt saugend wirkte, so würden die durch die Veränderungen der Querschnitts-Oeffnung, auf welche sie einwirkt, hervorgebrachten Erscheinungen dieselben sein. Wäre die Maschine zu gleicher Zeit saugend und blasend, so könnte man den hervorgebrachten Effect dem eines Gebläses gleich setzen, welches am Ende des Canals angebracht wäre; die Verminderung oder Vermehrung der Querschnitte der Oeffnungen, durch welche die Luft in die Maschine ein- und aus derselben ausströmt, müssen den von den Verengungen in dem Canal hervorgebrach-

ten Wirkungen gleich gestellt werden, wodurch aber stets ein gewisser Verlust an Druck veranlaßt wird. Es ist demnach von Wichtigkeit, dem Ausströmungskanale der Luft einen gleichen Querschnitt zu geben.

Zweites Capitel.

Centrifugalventilatoren.

580. Betrachten wir eine feste, von allen Seiten geschlossene Trommel, deren Achse eine bewegliche Welle mit mehreren ebenen oder gekrümmten Flügeln enthält, die bei ihrer drehenden Bewegung den innern Raum der Trommel durchlaufen. Durch die Bewegung der Flügel wird die Luft ebenfalls in Bewegung gesetzt und durch Einwirkung der Centrifugalkraft wird sie an der Peripherie verdichtet und in der Mitte ausgedehnt werden. Wenn aber die beiden Wangen der Trommel in der Mitte mit einer Oeffnung versehen sind und wenn die Peripherie der Trommel offen ist, so wird die Luft in der Mitte angesaugt und an der Peripherie ausgetrieben werden. Man begreift alsdann, daß wenn die Oeffnungen in den Wangen oder die Peripherie der Trommel mit einer Röhre in Verbindung ständen, oder wenn beide Verbindungen zu gleicher Zeit stattfänden, die Luft in der Röhre angesaugt oder ausgetrieben, oder zu gleicher Zeit in der einen angesaugt und in der andern ausgetrieben würde.

581. Obgleich alle Ventilatoren zu gleicher Zeit saugende und blasende sind, so bezeichnen wir doch speciell mit der Benennung saugende Ventilatoren diejenigen, welche die Luft durch Leitungsröhren ansaugen und sie an allen Punkten der Peripherie der Trommel in den umgebenden Raum austreiben. Blasende Ventilatoren werden aber diejenigen genannt, welche die umgebende Luft direct ansaugen, um sie durch eine Röhre ausströmen zu lassen, die mit der Peripherie der Trommel in Verbindung steht. Saugende und blasende Ventilatoren werden endlich diejenigen genannt, welche die Luft durch längere oder kürzere Leitungen ansaugen und sie in einen Canal, wie die blasenden Ventilatoren austreiben.

Saugende Ventilatoren.

582. Die Flügel dieser Ventilatoren können eben oder gekrümmt sein. Wenn die Flügel eben sind, wenn dasselbe mit den Flächen der Trommel der Fall ist und die Luft an allen Punkten der Peripherie entweicht, so ist der Querschnitt des Luftstromes bei seinem Eintritt in die Flügel kleiner als bei seinem Austritt. Gäbe man aber den Backen des Ventilators die Form von zwei abgestumpften Kegeln und den Flügeln eine trapezoidale Form, so könnte man das Verhältniß der Eintritts- und Ausgangsoberflächen nach Belieben verändern. Sind die Flügel gekrümmt, so bilden die Ausgangsöffnungen Durchschnitte in den Canälen ihrer Enden senkrecht auf ihre Achse; es ist klar, daß, wenn man den Ventilatorbacken

die Form von beiden Umdrehungsoberflächen giebt, und den Flügeln Breiten, die im Verhältniß zu den verschiedenen Entfernungen von dem Mittelpunkte stehen, man, ebenso wie bei den Ventilatoren mit ebenen Flügeln, irgend ein Verhältniß zwischen den Oberflächen der Eingangsöffnungen und denen der Ausgangsöffnungen der Luft feststellen könnte.

583. Der Ventilator von Combes. — Dieser Ventilator hat gekrümmte Flügel. Die Krümmung am Anfang der Flügel ist in der Art berechnet, daß Stöße der Luft vermieden werden, und die Krümmung an der Peripherie hat solche Verhältnisse, daß die Luft nur mit geringer Geschwindigkeit entweicht. Die Figg. 101 und 102 stellen zwei auf einander stehende senkrechte Durchschnitte dieser Apparate dar; die Flügel sind mit der Platte DD, die auf der Platte A befestigt ist und durch eine Riemenscheibe oder Schnurrolle P in Bewegung gesetzt wird, verbunden. Die freien Ränder der Flügel bleiben stets bei ihrer Drehung in einer geringen Entfernung von der festen Platte CC; EE ist die Eintrittsöffnung der Luft.

Um den Eintritt der äußern Luft zwischen die Scheibe CC und die freien Ränder der Flügel zu vermeiden, hat Combes bei einer andern Einrichtung die Drehungsachse senkrecht gestellt; die Flügel sind an zwei Backen befestigt, und die untere Backe ist rings um die Eintrittsöffnung mit einem Cylinder versehen, der in einen kranzförmigen Behälter mit Wasser tritt.

Unter diesen verschiedenen Formen und mit einer verschiedenen Anzahl von Flügeln sind die Combes'schen Ventilatoren in Belgien zur Ventilirung oder Wetterhaltung mehrerer Steinkohlengruben benutzt. Der belgische Bergingenieur Glépin, der viele Versuche mit einem horizontalen Ventilator angestellt hat, fand, daß, obgleich die Höhe des Wassers in dem kranzförmigen Gefäß über dem untern Rande des Cylinders weit bedeutender war, als die entstandenen Depressionen, das durch die Bewegung des Cylinders fortwährend bewegte Wasser mit in die beweglichen Canäle geführt wurde und daß folglich, wenn das kranzförmige Gefäß nicht fortwährend gefüllt erhalten werden konnte, sich nach kurzer Zeit ein freier Raum bildete, durch den äußere Luft in den Ventilator drang. In Folge dieser Versuche nimmt Herr Glépin den Nutzeffect der Maschine nur zu 0,27 bis 0,28 der angewendeten Kraft an; Professor Trasenster zu Lüttich ist aber der Meinung, daß dies ein Irrthum sei, der bei der Bestimmung der Triebkraft sich eingeschlichen habe, und er reducirt daher die Leistung der Maschine auf 0,15.

Glépin hat einen andern Ventilator, jedoch nach denselben Grundsätzen construirt, bei welchen die Flügel an einer horizontalen Welle befestigt waren, die sich zwischen zwei parallelen Mauern bewegten; allein der Nutzeffect ist durch diese neue Einrichtung nicht erhöht.

584. Der Ventilator von Letoret. — Dieser Apparat besteht aus vier länglich viereckigen Flügeln aus Blech, die an den Enden zweier schmiedeeiserner Stangen befestigt sind, welche rechtwinkelig auf der Welle stehen; die Flügel haben Gelenke und können verschiedene Neigungen annehmen. Eine Blechplatte, die senkrecht auf der Drehungsachse befestigt ist, trennt die Wirkungen, die von den beiden Saugöffnungen veranlaßt werden. Der Apparat ist zwischen zwei parallelen Mauern angebracht, welche die Backen des Ventilators bilden.

Ueber einen von diesen Apparaten hat Glépin Beobachtungen angestellt. Seine Dimensionen waren folgende: Länge der Flügel 0,77 M.;

Breite 0,93 M.; Durchmesser der Oeffnung zum Einströmen der Luft 1,60 M.; Entfernung des untern Flügelrandes von der Drehungsachse 0,80 M. Bei einem der Versuche war das in der Secunde angesaugte Luftvolum 2,939 Kubikmeter bei 6° unter einem Barometerdruck von 0,7312; der Ueberschuß des äußern Druckes über den innern Druck betrug 0,0152 Meter einer Wassersäule und 12,49 Meter einer Luftsäule; die geleistete Arbeit betrug 2,939 • 1,217 Kilogr. • 12,49 = 44,67 Kilogrammmeter, oder 0,595 Pferdekraft. Da nun die mitgetheilte Arbeit durch die Bremse gemessen 3,7 Pferdekräfte betrug, so belief sich der Nutzeffect auf 0,16 der verbrauchten Kraft. Ein anderer Versuch hat 0,18 gegeben. Bei dem ersten Versuche betrug der durch die Flügel und die Arme des Ventilators gebildete Winkel 135°, bei dem zweiten 105°. Bei diesem Apparate bildete sich an der Peripherie der mittleren Oeffnungen ein Luftstrom von entgegengesetzter Richtung mit dem, welcher in der Nähe der Achse stattfand. Die Umdrehungen betrugen 113 und 137 in der Minute.

Ein auf dieselbe Weise vorgerichteter Apparat, jedoch mit etwas verschiedenen Dimensionen, der auf einer andern Grube vorgerichtet war, gab bessere Resultate. Die Länge seiner Flügel betrug 0,80 M., die Breite derselben 0,98; die Entfernung der Biegung der Flügel von der Drehungsachse 0,75 M.; der Durchmesser der Einströmungsöffnungen 1,30 M.; der Zwischenraum zwischen den Rändern der Flügel und den Mauern 0,055 M.; der Winkel der Flügel und der Halbmesser 110°; die Anzahl der Umdrehungen in der Minute 144; der Nutzeffect 0,20.

Glépin erwähnt in seiner Abhandlung „über die zur Wetterhaltung in den Gruben angewendeten Apparate" die Resultate seiner Versuche mit noch einem Grubenventilator, der eine etwas andere Einrichtung hatte. Derselbe bestand aus acht blechernen Flügeln, die unten nach Ebenen gerichtet waren, die durch die Rotationsachse gingen, sich aber nach cylindrischen Oberflächen krümmten, welche die äußere Peripherie in einer Entfernung von 0,35 Meter von der Verlängerung ihrer ersten Richtung durchschnitten. Der Durchmesser der äußern Peripherie betrug 2,046; der Durchmesser des am Anfange der Flügel eingeschriebenen Cylinders 0,630 Meter; die Breite der Flügel 0,60, der freie Raum zwischen den Rändern der Flügel und den inneren Oberflächen der Backen 0,025. Der Nutzeffect betrug 0,10. Wenn dieser Nutzeffect, bemerkt Glépin, weit geringer war, als der der vorhererwähnten Ventilatoren, so scheint dies größtentheils der Anbringung der Flügel in Beziehung auf ihre Arme zugeschrieben werden zu müssen, da man bei einem von den erwähnten Ventilatoren bemerkt hat, daß der Nutzeffect um so geringer sei, je mehr sich die Richtung der Flügel denen der Arme näherte. Eine andere Ursache, welche sehr wesentlich zur Verminderung des Nutzeffectes beitragen muß, ist auch der geringe Durchmesser der Einströmungsöffnungen. Die Luft muß in denselben eine große Geschwindigkeit annehmen, wodurch an Druck wesentlich verloren geht.

Der belgische Ingenieur Jochams stellte im Jahre 1848 eine Reihe von Versuchen über die Letoret'schen auf mehreren belgischen Gruben angedeuteten Ventilatoren an, und er fand, daß der Nutzeffect 25 bis 30 Procent von der angewendeten Kraft betrage.

585. Zu den neueren und sehr zweckmäßigen Ventilatoren ist zuvörderst derjenige zu rechnen, den der österreichische Oberbergrath Rittinger

zu Wien erfunden und in einem besondern, im Allgemeinen für die Ventilatoren wichtigen Werke: „Centrifugal-Ventilatoren und Centrifugal-Pumpen, Wien, 1858" beschrieben hat. Der Bearbeiter des vorliegenden Werkes verweist die Leser hierauf. Ein anderer sehr zweckmäßiger Ventilator ist von dem Engländer Lloyd und noch ein anderer von dem Engländer Rogers erfunden.

Blasende Ventilatoren.

586. Diese Ventilatoren sind auf dieselbe Weise eingerichtet, wie die saugenden Ventilatoren, nur gehen die mittleren Oeffnungen in die freie Luft aus, und es ist die Peripherie der Trommel bis auf eine mit der Ausblasöffnung in Verbindung stehende Röhre verschlossen.

Die Fig. 103 stellt eine sehr allgemein angewendete Einrichtung im senkrechten Durchschnitte dar. Die Flügel P sind der Zahl nach sechs, mit geringer Neigung zu den Halbmessern. Ein auf diese Weise eingerichteter Apparat, in welchem der Durchmesser der Trommel A 1 Meter, der der beiden Einströmungsöffnungen b 0,50 Meter, die Breite 0,20 Meter betragen, konnte bei 1000 Umgängen in der Minute einen Cupolofen mit dem erforderlichen Winde versehen, der 2000 Kilogr. Roheisen in der Stunde umschmolz. Die dazu angewendete Kraft betrug etwa 4 Pferdekräfte; der Nutzeffect ist aber nicht beobachtet.

587. Der Ventilator von Decoster. — Die Figg. 104 und 105 stellen den Gebläse-Ventilator von Decoster im äußern Aufriß und im senkrechten Querschnitt dar. Es besteht dieser Apparat aus einem gußeisernen Kasten A, der an den beiden Seitenflächen offen ist, durch welche die Welle DD geht, durch welche die Riemenscheibe F umgedreht wird. Die Welle trägt senkrecht auf ihrer Richtung eine Blechplatte, welche den Ventilator in zwei gleiche Theile theilt und an der acht ebene Flügel P, vier auf jeder Seite, befestigt sind. Der Mantel ist excentrisch, so daß die Flügel fortwährend Luft in den Canal strömen lassen, der den durch die Enden der Flügel beschriebenen Kreis umgiebt, deren Durchschnitt gleichförmig zunimmt und mit der Windröhre verbunden ist.

Um die Zapfen bequem schmieren zu können, ist dieser Apparat mit einer sehr sinnreichen Vorrichtung versehen; am Ende der Zapfenlager B und C ist die Welle mit einer Scheibe versehen, die sich mit ihr dreht und die, da ihr unterer Theil in einen Oelbehälter O untertaucht, fortwährend eine gewisse Menge auf die Zapfen wirft; s sind die Schraubenzapfen, die man herausnimmt, wenn die Behälter entleert werden sollen.

Bei diesem Ventilator saugen die Einströmungsöffnungen die Luft nicht gleichförmig auf der ganzen Oberfläche an; es giebt fast keinen Ansaugungspunkt zwischen den Radien, von denen der eine durch den obern Rand der Ausströmungsöffnung geht und der andere durch die obere senkrechte. Diese genau bestimmte Thatsache scheint sich nicht anders erklären zu lassen, als wenn man annimmt, daß dieser senkrecht geschleuderte Luftstrahl den Canal für die folgenden Strahlen verschließt.

588. Der Ventilator von de Lacolonge. — Derselbe besteht aus einer fast cylindrischen Trommel von 1,153 M. Durchmesser, mit einer Dicke von nur 0,150 M.; die acht Schaufeln sind etwas gekrümmt. Nach den mit diesem Apparate angestellten Versuchen, wobei die Zahl der

Umläufe in der Minute von 305 bis 817 gesteigert wurde, stieg das Verhältniß des Nutzeffectes zu der Triebkraft fast regelmäßig von 0,13 bis 0,64 und der Druck der Wassersäule von 0,024 bis 0,164. In diesem Apparate nimmt, wie man sieht, der Nutzeffect mit dem Drucke zu, während bei allen vorhergehenden Ventilatoren das Entgegengesetzte wahrgenommen ist.

589. Der Ventilator von Burdon. — Die Figg. 106 und 107 geben einen Aufriß und einen Querdurchschnitt des Apparates. Der Kasten dieses Ventilators ist beweglich; er besteht aus Blech und bildet zwei abgestumpfte Kegel. Die Summe beider Einströmungsöffnungen D, D ist etwas größer, als die ringförmige Ausströmungsöffnung. Der Apparat ist durch einen Scheider P, der senkrecht auf der Drehungsachse steht, in zwei gleiche Theile getheilt. Die Flügel sind an diesem Scheider und an den abgestumpften Kegeln befestigt; sie bestehen aus Weißblech, sind kurz, ihrer Zahl nach 30 und an ihren Enden in der Richtung der Bewegung der Luft gekrümmt. Sie gehen von der Achse aus, und ihre unteren Ränder verbinden senkrecht die Ränder der Einströmungsöffnungen D, D durch eine concave Kurve.

Die Luft wird in einen kranzförmigen Raum M von Gußeisen getrieben, der concentrisch mit der Ventilatorachse ist, und sie strömt durch eine tangentiell auf der Oberfläche angebrachte Röhre aus. Zwei ringförmige Scheiben, die an diesem Luftbehälter angebracht sind, können mittelst der Schraube Fig. 108 den beweglichen Theilen des Ventilators bis zu einem gewissen Punkte genähert werden, um Luftverluste zu vermeiden. Die Bewegung wird mittelst der Scheibe B der Welle A mitgetheilt, die sich in den beiden Zapfenlagern H H dreht. Die Figur 109 stellt die Schmier-Vorrichtung dar. Eine sich drehende Scheibe führt fortwährend Oel in den obern Becher, der es auf die reibenden Theile fallen läßt.

Aus den vielen angestellten Versuchen folgt, daß die Ausströmungsgeschwindigkeit der Luft in diesem Ventilator stets 0,30 über die Geschwindigkeit der Flügelenden ist. Wir geben diese Thatsache an, weil man lange Zeit geglaubt hatte, daß diese letztere Geschwindigkeit die höchste wäre, die man der Luft geben könnte. Indem man zwei Ventilatoren, den einen hinter dem andern anbringt, und in die Einströmungsöffnung des zweiten die Luft des ersten eintreten läßt, nimmt der Druck zu. Ein großer Vortheil dieses Apparates ist der, von dem unangenehmen Geräusch, selbst bei Geschwindigkeiten von 2000 Umgängen in der Minute, fast ganz frei zu sein. Versuche über den Nutzeffect dieses Apparates kennen wir nicht.

590. Versuche von Dollfuß. — Der Elsässer Ingenieur Dollfuß hat sehr viele Versuche zur Bestimmung der vortheilhaftesten Formen der Blase-Ventilatoren angestellt. Die angewendeten Ventilatoren hatten alle Backen und ebene Flügel und folglich zunehmende Querschnitte. Die hervorgebrachten Effecte wurden durch den Druck gemessen, der auf ein senkrecht aufgehängtes Kartenblatt ausgeübt wurde. Dasselbe wurde in geringer Entfernung und vor der Ausströmungsöffnung des Windes an einem Stück Holz und dieses an einer Schnellwaage senkrecht befestigt; man veränderte das Gewicht in der Art, um das Blatt in seiner senkrechten Stellung zu erhalten.

Obgleich diese Versuche ohne irgend eine theoretische Voraussetzung gemacht wurden, und die zur Messung der hervorgebrachten Wirkungen angewendeten Mittel die zu wünschende Sicherheit nicht darboten, so fol-

gen doch aus diesen Versuchen einige wichtige Thatsachen, die wir mittheilen müssen.

1) Die Ränder der Flügel müssen den Backen so nahe stehen als möglich.

2) Die Höhe der Flügel muß die Hälfte der Halbmesser der Einströmungsöffnungen übersteigen.

3) Die Anzahl der Flügel muß mit dem Durchmesser der Einströmungsöffnungen zunehmen, und diese Anzahl muß größer sein, wenn der Mantel des Ventilators excentrisch zu der Drehungsachse ist.

4) Die Einströmungsöffnung muß elliptisch und etwas excentrisch sein, und der Mittelpunkt der Oeffnung muß sich über dem Halbmesser, parallel mit der Ebene der Ausgangsöffnung der Luft befinden.

Die drei ersten Bedingungen lassen sich leicht erfüllen; mit der letzten aber, die auf den ersten Anblick sehr einfach erscheint, ist es nicht so. Es muß jedoch bemerkt werden, daß wir hier blasende Ventilatoren vor uns haben, in denen Symmetrie im Verhältniß zur Achse nicht vorhanden ist.

Saugende und blasende Ventilatoren.

591. Diese Ventilatoren haben dieselbe Einrichtung wie die, von denen die Rede war, und sie unterscheiden sich nur dadurch, daß die angesaugte Luft, statt frei in den Ventilator einzutreten, erst dann eintritt, nachdem sie einen mehr oder weniger langen Canal durchlaufen hat. Es ist dies z. B. der Fall mit einem Ventilator, der zur Ersetzung einer Esse dient. Nachdem der Rauch durch seine Circulation um die Heizfläche vollständig abgekühlt ist, muß der am Ende des Ofens angebrachte Apparat die Luft des Heerdes ansaugen und sie alsdann in die Esse treiben, deren einziger Zweck es ist, die Verbrennungsproducte in einer zweckmäßigen Höhe in die Atmosphäre ausströmen zu lassen. Die saugenden und blasenden Ventilatoren haben im Allgemeinen die Construction der blasenden Ventilatoren. Man begnügt sich damit, an der einen Seite der Einströmungsöffnung eine Röhre anzubringen, deren anderes Ende mit dem Raume, dem die Luft entzogen werden soll, in Verbindung steht.

Bemerkungen über die Centrifugal-Ventilatoren.

592. Die Centrifugal-Ventilatoren haben sämmtlich eine sehr einfache Construction, einen bequemen Betrieb, kommen wenig in Unordnung, allein die Erscheinungen, die in denselben entstehen, sind außerordentlich verwickelt.

593. Wir wollen zuvörderst einen saugenden Ventilator betrachten und annehmen, daß der von der Luft durchströmte Canal einen constanten Querschnitt habe, daß die Flügel nach den Radien gerichtet seien und daß die mittlere Oeffnung in die Atmosphäre ausgehe. In Folge der Rotation wird die Centrifugalkraft die Luft durch die Canäle ausströmen lassen; es wird in der Mitte eine der Ausströmungsgeschwindigkeit entsprechende Luftverdünnung stattfinden und die Luft wird an dem Ausgange der Canäle absolute Geschwindigkeit haben, hervorgehend aus der relativen Geschwindigkeit in dem Apparate und der Drehungsgeschwindigkeit der Flügelenden. Man könnte in diesem Falle leicht die hervorgebrachten Wirkungen berechnen, indem man die beim Eintreten der Luft in die Canäle vor sich gehenden Erscheinungen, die dort entstehende Reibung unberücksichtigt läßt,

und wenn man annimmt, daß bei jeder senkrecht auf der Achse eines Canales stehenden Luftschicht alle Theilchen dieselbe Geschwindigkeit haben. Die erstere Annahme könnte bei einer annähernden Bestimmung zugelassen werden, allein die letztere ist nicht zulässig, weil hinter jedem Flügel in der Nähe der Peripherie eine partielle von der Drehung herrührende Luftleere entsteht, weil die äußere Luft dahin strömen kann, und weil vielleicht hinter den Flügeln eine Strömung in entgegengesetzter Richtung entsteht, wie einige von den weiter oben mitgetheilten Versuchen anzugeben scheinen. Man weiß daher in den einfachsten Fällen nicht, was in den Canälen vor sich geht, was aber zur Anstellung von Berechnungen durchaus nothwendig ist. Wenn sich die Canäle erweitern, so ist es sehr wahrscheinlich, daß das Ansaugen der äußern Luft an der Peripherie sehr zunehmen würde, oder daß wenigstens an den Enden der Canäle Wirbel entstehen würden. Es ist auch außerdem anzunehmen, daß dieses Ansaugen in dem Maaße zunehmen würde, wie die Ausdehnung in der Mitte zunähme. Dieser Ursache muß vielleicht die im Allgemeinen mit dem steigenden Drucke sich vermindernde Leistung der Centrifugal-Ventilatoren zugeschrieben werden.

Wären die Röhren gekrümmt, so würden die Wirkungen hinter den Flügeln wahrscheinlich auch noch vorhanden sein, jedoch mit geringerer Stärke. Bei blasenden oder bei saugenden und blasenden Ventilatoren sind die hinter den Flügeln entstehenden Erscheinungen von wahrscheinlich gleicher Beschaffenheit wie bei den saugenden, und man kennt sie nicht besser.

594. Es wäre zu wünschen, daß man Versuche über die Ventilatoren anstellte, indem man zuvörderst die sich bildenden physischen Erscheinungen, den Einfluß der Anzahl der Flügel, den ihrer Breite, den ihrer Krümmung und der übrigen Verhältnisse, die vorkommen können, kennen zu lernen suchte. Diese Untersuchungen würden keine großen Schwierigkeiten darbieten, weil man sie in einem kleinen Maaßstabe anstellen, die erforderliche Kraft durch den Fall eines Gewichtes hervorbringen und messen, und die Einströmungsgeschwindigkeit mit Wassermanometern von zweckmäßiger Empfindlichkeit messen könnte. Mit Umsicht ausgeführt, würden diese Versuche sicher dahin führen, die für die verschiedenen Fälle vortheilhaftesten Einrichtungen kennen zu lernen, oder man würde wenigstens zu empirischen Formeln gelangen, welche dazu dienen könnten, die Construction bei Vorrichtung dieser Maschinen zu leiten, und die endlich eine hinreichende Bestimmung der Kraft geben würden, welche zur Erlangung einer gegebenen Wirkung erforderlich ist.

595. Unter den jetzigen Verhältnissen kann man weder für jeden besondern Fall die zweckmäßigste Einrichtung, welche man den Ventilatoren geben muß, angeben, noch die zur Hervorbringung einer bestimmten Wirkung nöthige Arbeit berechnen. Jedoch folgen aus beobachteten Thatsachen, wie aus einigen theoretischen Angaben Grundsätze, welche den Maschinenbauer leiten können.

596. 1) Es scheint nicht zweifelhaft, daß in allen Fällen es sehr vortheilhaft sein würde, Ventilatoren von constantem Querschnitt zu benutzen, d. h. bei denen die Oeffnungsquerschnitte zum Einströmen der Luft in den Ventilator gleich der Oberfläche des Eintritts-Cylinders der Luft in die Canäle und die Summe der constanten Querschnitte derselben gleich wären. Wenn die Flügel eben sind, so kann man Canäle mit constantem Querschnitt dadurch erlangen, daß man den Ventilatorflächen die Form zweier abgestumpften Kegel und den Flügeln die Form eines Trapezes giebt.

Bei gekrümmten Flügeln und wenn dieselben überall gleichweit abstehen, d. h. wenn sie die Form von devolvirenden Linien haben, werden ebene Backen offenbar den Canälen einen constanten Querschnitt ertheilen.

597. 2) Es ist vortheihaft, die Flügel in der Art zu krümmen, daß das Ausströmen bei den saugenden Ventilatoren, welche die Luft in die Atmosphäre treiben, in der Richtung gegen die Drehungsgeschwindigkeit und bei den blasenden Ventilaforen in der Drehungsrichtung stattfindet und zwar so, daß die Richtung des Endes der Canalachse an diesem Punkte möglichst die Tangente von der äußern Peripherie der Trommel bilde.

598. 3) Die Anwendung einer großen Anzahl von kurzen Flügeln, die einander sehr nahe stehen, wie bei den Burdon'schen Ventilatoren, scheint der mit vier oder sechs langen Flügeln, wie bei den übrigen Apparaten, vorzuziehen zu sein. Es ist wahrscheinlich, daß die Näherung der Flügel die entgegengesetzte Strömung hinter denselben verhindere; jedoch ist es nicht zweifelhaft, daß zur Erlangung einer bestimmten Wirkung die Drehungsgeschwindigkeit nicht in dem Maaße zunehmen müsse, wie sich die Höhe der Flügel vermindert.

599. 4) Es scheint, daß es zweckmäßig sei, dem Mantel der blasenden oder zu gleicher Zeit blasenden und saugenden Ventilatoren eine excentrische Form zu geben und zwar in der Art, daß die Geschwindigkeit der Luft durch die Canäle constant sei, welches nicht der Fall sein kann, wenn der Mantel mit der Achse concentrisch ist.

600. 5) Es ist bei jeder Art von Ventilatoren zweckmäßig, auf der Drehungsachse sich drehende Oberflächen von Blech zu befestigen, die den Zweck haben, die Luft fortwährend nach einer gewissen Richtung in den Anfang der Canäle zu treiben; diese Einrichtung ist hauptsächlich dann erforderlich, wenn das Ansaugen durch die beiden Backen stattfindet, damit der gegenseitige Einfluß der beiden aus entgegengesetzten Richtungen herbeikommenden Strömungen vermieden wird und um sie erst dann mit einander in Berührung zu bringen, wenn sie dieselben Richtungen erlangt haben.

601. 6) Es sei die Form der Ventilatoren sowie ihr Zweck welcher es wolle, so ist es von der größten Wichtigkeit, ihnen solche Dimensionen zu geben, daß die Geschwindigkeit der Luft in dem Apparate, sowie in den Röhren zum Ansaugen und zum Ausdrücken wesentlich dieselbe sei; denn wenn die Geschwindigkeit der Luft in dem Ventilator größer als die ist, die in der Saug- oder in der Ausströmungsröhre hervorgebracht werden muß, so folgt stets ein bedeutender Arbeitsverlust, unabhängig von dem, den die Maschine an und für sich hat. (575.)

602. Da die Theorie der Rotationsgeschwindigkeit nicht bekannt ist, so weiß man nicht, welche Rotationsgeschwindigkeit man einem Apparate zur Erlangung einer bestimmten Geschwindigkeit geben muß. Im Allgemeinen ist die Geschwindigkeit der Luft gleich der Geschwindigkeit an den Flügelenden; allein die Einrichtung des Apparates hat einen großen Einfluß, und diese Geschwindigkeit kann innerhalb sehr weiter Grenzen, darüber und darunter, verschieden sein.

In Beziehung auf den zu erlangenden Nutzeffect herrscht dieselbe Unbestimmtheit. Die bis jetzt gemachten sehr unvollkommenen Versuche führen zu der Annahme, daß bei den meisten Apparaten 0,30 bis 0,40 nicht überstiegen werden können. Dieser Nutzeffect vermindert sich aber sehr schnell in dem Maaße, wie der Druck steigt.

603. Die Centrifugal-Ventilatoren sind hauptsächlich dann vortheilhaft, wenn die Widerstände klein sind und die zu erlangende Geschwindigkeit nur gering zu sein braucht, weil alsdann die zur Bewegung der Luft nöthige Arbeit so unbedeutend ist, daß selbst eine sehr bedeutende Steigerung der Arbeit der Maschine ohne alle Wichtigkeit bleibt und daß die Einfachheit des Apparates die erste zu erfüllende Bedingung ist.

Drittes Capitel.

Schrauben-Ventilatoren.

604. Der Ventilator von Motte. — Dieser Apparat besteht aus zwei schraubenförmig gewundenen Oberflächen H (Fig. 110), deren Höhe entweder gleich dem Gange der Schraube oder nur einem halben Gange (Fig. 111) ist. Die Achse AA dieser Oberflächen dreht sich in einem blechernen oder gußeisernen Cylinder C, welcher durch das eine Ende mit der Saugröhre und durch das andere mit der Ausströmungsröhre in Verbindung steht. Nach der von Combes gegebenen Theorie dieses Apparates suchen alle flüssigen Theile die Schraube parallel mit der Achse und mit einer ihrer Entfernung von der Mitte proportionalen Geschwindigkeit zu durchgehen; da aber der Druck beim Ansaugen stärker als beim Austreten ist, so bewegt sich die Luft in entgegengesetzter Richtung, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die der Differenz des Druckes entspricht. Es folgt daraus, daß es eine Entfernung von der Achse giebt, in welcher diese beiden Geschwindigkeiten gleich sind und daß, von dieser Entfernung ausgehend, die Geschwindigkeiten in entgegengesetzter Richtung in dem Maaße zunehmen, als man sich davon entfernt, daß sich folglich die Luft in der Nähe der Achse des Cylinders in entgegengesetzter Richtung bewegt.

Die Erfahrung bestätigt die theoretischen Resultate in Beziehung auf das Vorhandensein zweier Luftströmungen in entgegengesetzter Richtung, aber nicht auf dem Halbmesser des Cylinders, wo sich die Geschwindigkeiten heben. Prof. Trasenster hat durch Anwendung des Calculs auf einige Erfahrungsresultate bestätigt, daß der Cylinderhalbmesser kleiner sei, als der durch die Theorie bestimmte Halbmesser. Es ist offenbar, daß man den zurückgehenden Strom verhindern kann, wenn man die Schraubenoberfläche an einen Cylinder von zweckmäßiger Dimension befestigt.

Der Ventilator von Motte, der auf einer belgischen Grube benutzt wird, hat 1,40 M. Durchmesser und eine Höhe, die gleich der Hälfte des Gewindes ist. Nach den Versuchen von Glépin waren bei 450 und 506 Umgängen in der Minute die ausgeströmten Luftmengen 3,908 und 4,228 Q.-Meter. Die Druckverminderungen in der Wassersäule beliefen sich auf 0,0216 und 0,025 Meter. In Beziehung auf den Nutzeffect hat Glépin 0,33 und 0,31 gefunden, allein nach den von dem Ingenieur Ponson angestellten Versuchen betrug der Nutzeffect nur 0,26 bis 0,24 und bei neueren Versuchen ist er sogar auf 0,20 und 0,21 vermindert.

Ein anderer Ventilator dieser Art auf einer andern Grube, der nur 0,80 M. Durchmesser hatte, wurde bei einer Geschwindigkeit von 750 und 600 Umgängen in der Minute versucht, und es waren die Druckverminderungen nach der Wassersäule 0,0063 und 0,0065 M.; die angesaugten Luftvolumina beliefen sich auf 2,152 und 1,790 Q.-M., und die Nutzeffecte betrugen 0,17 bis 0,20.

605. Der Ventilator von Pasquet. — Dieser Ventilator ist nach demselben Prinzip eingerichtet, wie der von Motte, allein statt wie dieser continuirliche Schraubengewinde zu haben, besteht er aus einem cylindrischen Kern, auf welchem 3 bis 6 schraubenförmige Blätter befestigt sind, von denen jedes nur ein Drittel oder ein Sechstel von einem gewöhnlichen Schraubengewinde bildet. Diese Blätter bestehen aus dünnem Blech und sind mittelst Winkeleisen auf dem äußern cylindrischen Kern bebefestigt. Die Ventilatorachse ist senkrecht.

Bei den ersten Ventilatoren dieser Art hatte man den beweglichen Canälen beim Eintritt der Luft einen größern Querschnitt ertheilt, als beim Austritt, allein man fand später, daß durch diese Einrichtung der Nutzeffect nicht gewinnen könne, und man hat sie daher weggelassen.

Mehrere Ventilatoren dieser Art sind auf belgischen Steinkohlengruben angewendet, und von dem Ingenieur Jochams Versuche damit angestellt worden, deren Resultate nachstehende sind:

Die Anzahl der Umgänge ist:

331	300	330;

die manometrischen Depressionen waren

0,030 M.	0,030 M.	0,028 M.

die Volumina der angesaugten Luft waren

8,873 K.-M.	6,063 K.-M.	10,369 K.-M.

und die Nutzeffecte

0,275	0,275	0,355.

Ein Versuch, bei welchem jede Verbindung mit dem Grubenbau unterbrochen wurde, hat eine höchste Druckverminderung von 0,062 mittelst 303 Umdrehungen in der Minute gegeben.

606. De Ventilator von Staib. — Derselbe besteht aus vier Flügeln, die in gleichen Abständen von einander um eine senkrechte Achse angebracht sind. Die Höhe des vollständigen Schraubengewindes beträgt etwa 0,30 M. Jeder Flügel ist 0,05 Meter hoch und bietet nur ein Sechstel von der Oberfläche eines vollständigen Gewindes dar. Es bedeckt daher die Projection dieser vier Flügel auf einer Ebene nur zwei Drittel von dem Cylinderdurchschnitt. Der Schraubendurchmesser beträgt 0,30 M.; die Schraube dreht sich in einem blechernen und etwas größerem Cylinder, um die Reibungen an dem Mantel zu vermeiden.

Um die Geschwindigkeit der Luft in der Röhre zu messen, hat man weder manometrische, noch anemometrische Versuche angestellt; allein man hat in einer und derselben Röhre zwei parallele Schrauben angebracht. Die eine hat sich mit einer gewissen Geschwindigkeit gedreht, während die zweite

in der Secunde eine Anzahl von Drehungen machte, und man hat als Ausströmungsvolum den Durchschnitt zwischen den von jeder Schraube erzeugten theoretischen Mengen genommen. Es fand sich, daß das wirkliche Volum 0,84 von dem theoretischen betrug. Einige Versuche, durch welche man die Zeit maß, welche der Rauch einer Terpentin-Oellampe gebrauchte, um von dem einen Ende der Röhre zu dem andern zu gelangen, scheinen diese Zahl zu bestätigen. Der Nutzeffect hat ungefähr 0,30 betragen.

607. **Der Ventilator von Lesoinne.** — Lesoinne, ehemaliger Professor der Hüttenkunde an der Universität zu Lüttich, war der Meinung, daß der beste Receptor der Windkraft auch gute Resultate beim Ansaugen der schlechten Grubenwetter geben müsse, und er hat daher einen Apparat construirt, der die größte Aehnlichkeit mit den Windmühlenflügeln hatte. Es wurde der Apparat auf einigen belgischen Steinkohlengruben aufgestellt. Er bestand aus sechs Flügeln von 1,5 bis 2 Millimeter dickem Blech, welche auf eisernen Radien aufgenietet waren, die einerseits an dem mittlern Kern und andererseits an dem runden Kranz befestigt wurden. Die Neigung dieser Flügel betrug, wie bei den Windmühlen, 18 bis 19 Grad zum Kern und 6 bis 7 Grad zur Peripherie. Wenn man diesem Apparat eine rotirende Bewegung ertheilt, so gleitet die Luft auf den Flügeln und verbreitet sich in der Atmosphäre; die entstandene Luftleere saugt die Wetter aus der Grube an und treibt sie in die Atmosphäre.

Die wenigen mit diesem Ventilator angestellten Versuche haben nur geringe Druckverminderungen von höchstens 0,13 Meter gegeben; die Resultate waren folgende:

Anzahl der Umläufe in der Minute

162 175 201,5;

die in der Minute angesaugten Luftvolumina waren

7,500 K.-M. 8,500 K.-M. 9,120 K.-M.

und die manometrischen Depressionen

0,005 0,005 0,013.

Der Nutzeffect betrug etwa 26 Procent. Im Allgemeinen haben diese Wettermaschinen nur schlechte Resultate gegeben, besonders im Sommer.

608. **Bemerkungen über die Schraubenventilatoren.** — Obgleich diese Maschinen eine einfachere Construction als die Centralventilatoren haben, so kommen sie doch weit leichter in Unordnung. Ihr Nutzeffect scheint derselbe zu sein, wenigstens bei geringen Druckdifferenzen. Sie werden besonders dann vortheilhaft sein, wenn die Luft wenig Widerstand hat, wenn sie nur eine geringe Geschwindigkeit zu erlangen braucht und wenn die Canäle einen weiten Querschnitt haben.

Viertes Capitel.

Luft- oder Wetterräder.

609. Der Apparat von Fabry. — Der belgische Ingenieur Fabry zu Charleroy hat einen Apparat construirt, der von den bis jetzt beschriebenen gänzlich abweicht. Er besteht, wie der senkrechte Durchschnitt Fig. 112 andeutet, aus zwei oder drei vollen Flügeln A,A,A, die um die Wellen C,C in den beiden Läufen DD beweglich sind, und die sich den Seitenmauern so viel als thunlich nähern. Die Räder haben gleiche Geschwindigkeiten in entgegengesetzten Richtungen, und es werden dieselben durch äußere, in der Figur jedoch nicht angegebene Räderwerke hervorgebracht; jeder Flügel ist mit einem massiven Stück Gußeisen B versehen, das senkrecht auf seiner Richtung steht und in eine cylindrisch gekrümmte Oberfläche ausläuft, die gleiche Höhe mit der Breite des Laufes hat, und deren Krümmung und Ausdehnung in der Art bestimmt sind, daß während der Bewegung der Räder die Verbindung des Schachtes mit der äußern Luft gänzlich unterbrochen wird. Es folgt aus dieser Einrichtung, daß jedes Rad bei einer Drehung ein Luftvolum in die Atmosphäre treibt, welches gleich dem Volum des von dem Flügelrade beschriebenen Volums des Cylinders ist. Der Apparat läßt zu gleicher Zeit eine Luftmenge eintreten, die gleich dem dreifachen von derjenigen ist, welche sich zwischen den Flügeln und den Haltern der gekrümmten Oberfläche befindet; jedoch sind diese letzteren stets sehr klein im Verhältniß zu den ersteren. Die Fabry'schen Ventilatoren haben fast sämmtlich gleiche Dimensionen; die Flügel haben etwa 1,70 M. Länge und 2 M. Breite. Das bei jedem Radumlaufe verdrängte theoretische Luftvolum beträgt 23 bis 24 Q.-M., allein das bei den Versuchen erhaltene ist weit kleiner, indem zwischen den Rädern und dem Lauf, sowie zwischen den Rädern selbst stets Luft entweicht.

Der Ingenieur Jochams hat mit diesem Apparat eine große Reihe sehr sorgfältiger Versuche angestellt, es ist aber zu bedauern, daß er zur Bestimmung des Nutzeffectes ein Verfahren angewendet hat, durch welches die Leistung zu hoch ist. Wir wollen einige von den Versuchen mit den von dem Professor Trasenster vorgenommenen Reductionen anführen.

Die Grube, auf welcher die Versuche angestellt wurden, hat zwei Schächte von 420 M. Teufe. Der Wetterstrom fällt durch den Förderschacht ein, und theilt sich in vier einzelne Ströme, die sich vor der Wettermaschine wieder vereinigen. Jochams hat vier Versuche unter verschiedenen Verhältnissen angestellt, zuvörderst mit den vier Strömen, dann mit Abstellung von einem, dann von zweien und dann zuletzt von dreien. Die Resultate waren folgende:

1) Mit den vier partiellen Strömen war die Druckverminderung bei 30 Umläufen in der Minute 0,022; das in der Secunde angesaugte Luftvolum belief sich auf 9,590 Q.-M. und das Verhältniß des Nutzeffectes zur verbrauchten Kraft betrug 0,453.

2) Mit drei Strömen waren dieselben Größen

35,2 0,040 M. 10,136 K.-M. 0,452.

3) Mit zwei Strömen

30 0,053 M. 8,409 K.-M. 0,57.

4) Mit einem einzigen Strome

33,6 0,068 M. 7,998 K.-M. 0,556.

610. In einem andern Schacht derselben Kohlengrube stellte Jochams noch andere Versuche an, und um sich zu überzeugen, welches die höchste Depression sei, die man erlangen könnte, hatte man die Schachtöffnung, durch welche die Wetter einfallen, gänzlich verschlossen.

Man hat bei 23 Umgängen des Apparates eine Depression von 0,086 M. und ein Volum von 4,204 Q.-M. erhalten; der Nutzeffect betrug 0,49.

Es lassen sich aus diesen Versuchen nachstehende wichtige Folgerungen machen:

1) Die Theilung des Ventilatorstroms in mehrere besondere ist eine Bedingung, die man möglichst zu erfüllen suchen muß; wirklich beweisen die Versuche, daß die Druckverminderung und folglich die geringere Leistung im umgekehrten Verhältniß zu der Anzahl der einzelnen Ströme steht, was übrigens mit den Resultaten des Calculs übereinstimmt.

2) Das durch die Wetterräder erzeugte praktische Volum vermindert sich in dem Maaße, wie die Druckverminderung steigt; berechnet man die vier angestellten Versuche, so findet man für die Depression von:

0,022 M. 0,040 M. 0,053 M. 0,068

die praktischen Volumina:

19,180 K.-M. 17,277 K.-M. 16,818 K.-M. 14,282 K.-M.

Dieses Resultat läßt sich leicht begreifen. Es müssen die Verluste wirklich um so größer sein, je bedeutender die Depression ist. Jochams schätzt sie auf 20 Procent bei Depressionen über 10 Millimeter, auf 40 Procent, wenn die Depression 60 Millimeter übersteigt, und auf 55 Procent, wenn sie die Zahl von 86 Millimeter erreicht.

3) Jochams fügt noch hinzu, daß bei den zahlreichen Beobachtungen, die er unter gleichen Verhältnissen in den Grubenbauen angestellt habe, die Depression wie das Quadrat der Geschwindigkeit des Ventilator-Apparates zunehmen. Dieses Resultat läßt sich leicht erklären; wenn man annimmt, daß das praktische Volum constant bleibt, welches bei Depressionen, die zwischen 0,020 und 0,050 schwanken, welches die Grenzen der in Frage stehenden Versuche sind, so ist die Geschwindigkeit des Wetterzuges in der Grube proportional der Geschwindigkeit des Ventilators; und da andererseits die Druckverluste sich wie das Quadrat dieser Geschwindigkeit verhalten, so sind die beobachteten Thatsachen eine natürliche Folge von dem Bewegungsgesetz der Gase.

4) Das Verhältniß des Nutzeffectes zu der Triebkraft vermindert sich nicht, wie dies bei den anderen Ventilatoren in dem Maaße, wie die Depression steigt, der Fall ist; es scheint im Gegentheil, daß dieser Nutzeffect ein Maximum zu erreichen strebt, welches einer Depression zwischen 60 und 70 Millimeter entspricht. Dieses Verhältniß ist übrigens wesentlich constant und verändert sich nur von etwa 0,45 bis 0,57.

611. Der Ventilator von Lemielle. — Die Figg. 113 und 114 stellen zwei Durchschnitte nach F,F, und nach H,H, dar; es besteht dieser Apparat aus zwei gußeisernen Cylindern: der erste B ist fest und mit zwei weiten Oeffnungen für den Ein- und Austritt der Luft versehen; der zweite A ist im Innern des ersten angebracht und um seine Achse beweglich, die mittelst einer Riemenscheibe D eine ununterbrochene drehende Bewegung erhält. Dieser Cylinder hat an seiner äußern Oberfläche sechs gekrümmte und mit Gelenken versehene Schaufeln f.,f.,f., deren Neigung durch Stäbe t.,t.,t., veranlaßt wird. Diese sind an die Muffe o.,o.,o., um die gekröpfte Welle C,C, des innern Cylinders angebracht und gehen durch seine Oberfläche. Es folgt aus dieser Einrichtung, daß die Schaufeln verschiedene Neigungen annehmen, die durch die Fig. 113 verdeutlicht werden, und daß für jedes Sechstel das angesaugte Luftvolum gleich ist dem Volum zwischen der Schaufel, welche die Eintrittsöffnung verschließt und derjenigen, welche vorhergeht, d. h. etwa ein Sechstel $L\pi\ (R^2-r^2)$. In dieser Formel bezeichnet L die gemeinschaftliche Höhe beider Cylinder, R den größten Halbmesser der Schaufeln und r den Trommelhalbmesser. Es ist zu fürchten, daß bei diesem Apparat die Rücktritte der Wetter durch den Lauf und durch die Schlitze der Trommel, durch welche die Stangen gehen, mittelst deren die Neigungen der Schaufeln hervorgebracht werden, bedeutend sind, und besonders auch, daß die Gelenke für die Apparate von großen Dimensionen viele Störungen und bedeutende Unterhaltungskosten veranlassen.

Der Lemielle'sche Ventilator steht in mehreren Steinkohlengruben Frankreichs und Belgiens im Betriebe und gab, wenn er in gutem Zustande war, stets einen Nutzeffect von 0,55 bis 0,60 der angewendeten Triebkraft, bei Depressionen von 0,10 bis 0,20 Meter.

Fünftes Capitel.

Kolbenmaschinen.

612. Die Kolbenmaschinen bestehen im Allgemeinen aus zwei hölzernen Cylindern mit eisernen Armaturen, und in jedem derselben bewegt sich ein mit mehreren Klappen versehener Kolben. Auch die Cylinderböden sind mit mehreren Kolben versehen, die sich von unten nach oben schließen. Die Kolben stehen mit einander in Verbindung und ihre in umgekehrter Richtung stehende Bewegung wird durch eine Dampfmaschine hervorgebracht. Sie sind entweder an Ketten aufgehängt, die sich auf Kreissectoren an dem

Ende des Balanciers auflegen, oder mit Storchschnäbeln versehen; zuweilen ist auch die Dampfmaschine über dem Cylinder angebracht und ihr Kolben ist mit zwei Stangen versehen, die in platten Ketten auslaufen, die über Rollen liegen und die Kolben der Wettercylinder tragen. Die unteren Theile dieser Cylinder stehen mit einer sohligen Strecke in Verbindung, die sich mit dem Wetterschacht verbindet. Die Ventile sind gewöhnlich mit Gegengewichten versehen.

In Belgien findet man sehr viele von diesen Maschinen, die in dem Werke von Ponson über „Steinkohlenbergbau" fast sämmtlich näher beschrieben sind. Hier wollen wir nur einige der wichtigsten erwähnen.

613. Eine Kolbenmaschine, bestehend aus zwei hölzernen mit eisernen Bändern versehenen Cylindern von 3,53 M. innerem Durchmesser und 0,6 Meter Dicke ist in Fig. 115 in senkrechtem Durchschnitte dargestellt. Der Boden und der Kolben eines solchen Cylinders hat sechs Oeffnungen, die mit blechernen Klappen oder Ventilen versehen sind; die am Kolben sind mit Gegengewichten versehen. A ist der Cylinder; a.,a.,a., sind die Kolbenventile; b.,b., die Klappen am Boden. Der Lauf des Kolbens beträgt 1,70 bis 1,90 M. Die treibende Dampfmaschine hat einen horizontalen Cylinder, der über dem Wettercylinder angebracht ist; die Ketten, woran die Kolben hängen, laufen über Rollen und sind einerseits mit den zusammenlaufenden vier Stangen des Gebläsekolbens und andererseits mit der Dampfkolbenstange verbunden. Bei einem ersten Versuche saugte die Maschine 5,925 Q.=M. Luft in der Secunde, bei einer Temperatur von 4,15 ^{0} und unter einem Druck von 0,7517 M. an; in der Minute machte der Kolben 13,15 Auf= und Niedergänge; der Ueberschuß des äußern Druckes über den innern belief sich im Durchschnitt auf 0,1214 M. Wasser oder auf 96,42 M. Luft. Die Arbeit der Maschine war unter diesen Umständen gleich 5,925 • 1,259 • 96,42 = 719,25 Kilogrm., oder 9,59 Pferdekräften; da nun die verbrauchte Kraft der von 26,62 Pferden gleich kam, so folgt daraus, daß sich der Nutzeffect der Maschine auf 0,36 belief. Bei zwei anderen Versuchen, die unter verschiedenen Verhältnissen ausgeführt wurden, erhielt man als Nutzeffect 0,408 und 0,377. Glépin fand bei diesen Versuchen, daß das Wassermanometer auf der Wetterstrecke etwas verschiedene Schwankungen während des Aufganges der beiden Kolben erlitt; bei dem ersten betrug zu Anfang der Bewegung die Manometerhöhe 0,035 und sie erhob sich alsdann bis auf 0,21, verminderte sich wieder bis auf 0,055 und stieg am Ende des Laufes wieder bis auf 0,16 M. Bei dem zweiten Kolben schwankten die Manometerangaben auf ähnliche Weise, allein die Grenzen waren unter denselben Verhältnissen 0,065, 0,17, 0,065 und 0,18 M. Während des Aufganges von dem Kolben gab das Manometer, welches sich nach unten öffnete, bei Beginn des Steigens eine auf 0 stehende Depression an; es erhob sich fast augenblicklich auf 2,125, auf 0,2325, nahm darauf nach und nach bis zu 0,13 bis zu 0,15 M. ab, stieg darauf bis 0,18 oder 0,20 M. und blieb bis zum Ende des Laufes stationär. Während des Kolbenaufganges belief sich der mittlere Ueberschuß des Druckes anfänglich auf 0,0225 M., und nach der Oeffnung der Ventile blieb er während des Kolbenniedergangs auf 0,02 M. stehen.

614. Eine andere Maschine derselben Art, die auf einer andern Grube zur Wasserhaltung benutzt wurde, gab minder gute Resultate. Das in der Secunde angesaugte Luftvolum belief sich auf 2,615 Q.=M. mit einer

Temperatur von 13° und unter einem Druck von 0,7511. Die mittlere Depression auf der Strecke belief sich auf 0,0336 M. Wasser oder auf 27,63 M. Luft. Die benutzte Kraft war dann gleich 2,615 • 1,216 • 27,63 = 87,859 Kilogrm. oder 1,171 Pferdekräfte. Da die verbrauchte Triebkraft 4,448 Pferdekräfte betrug, so benutzte die Maschine nur 0,26. Das sich in die Strecke öffnende Manometer gab zu Anfange des Hubes von dem ersten Kolben eine Depression gleich Null und während $\frac{1}{14}$ von der ganzen Dauer des Aufganges an; während $\frac{2}{14}$ des ganzen Aufganges einen Druck von 0,209375 M.; dagegen aber eine Depression von 0,033625 während des übrigen Theiles von dem Aufgange. Das an einem der Kolben angebrachte Manometer zeigte bei Anfang der Bewegung eine Depression von Null. Sie erhob sich darauf schnell bis 0,055 M. und nahm bis 0,065 M. zu; während des Niederganges von dem Kolben war der Drucküberschuß 0,02. Glépin schreibt die mit dieser Maschine im Verhältniß zur ersten erlangten Resultate einer größern Schwierigkeit, welche die Luft beim Oeffnen der Klappenventile findet und der geringern Sorgfalt zu, mit welcher die Maschine unterhalten wird.

615. Eine dritte Kolbenmaschine von derselben Einrichtung hat ein besseres Resultat ergeben. Das in der Secunde angesaugte Luftvolum betrug 4,545 Q.=M. von 13,5° Temperatur, unter dem Druck von 0,749; die Depression auf der Wetterstrecke war im Durchschnitt 0,1025 M. Wasser oder 84,59 M. Luft. Die ausgeführte Arbeit betrug alsdann 4,545 • 1,211 • 84,59 = 465 Kilogrm. oder 6,207 Pferdekraft; da die Triebkraft 22,5 Pferdekräfte betrug, so belief sich der Nutzeffect auf 0,30. Während des Aufganges von dem ersten Kolben gab das Manometer des Cylinders eine Depression an, die nach und nach von 0 auf 0,29 M. stieg, darauf bis auf 0,5 M. abnahm, sich endlich von Neuem bis auf 0,075 M. erhob, eine Grenze, die sie am Ende des Aufganges erreichte. Während des Niederganges war der mittlere Drucküberschuß 0,035 M. Bei dem andern Kolben zeigte das sich nach unten öffnende Manometer eine Depression an, die von 0 bis 0,255 M. stieg, darauf bis auf 0,045 M. abnahm und sich endlich auf 0,07 M. erhob; dasselbe Manometer gab während des Niederganges einen Drucküberschuß von 0,0325 M. an. Glépin schreibt den Unterschied zwischen den von dieser und der ersten Maschine erlangten Resultaten dem Umstande zu, daß sie mit weniger Sorgfalt eingerichtet ist und daß die Kolbenventile nicht mit Gegengewichten versehen sind.

Die Kolbenmaschinen geben einen ziemlich bedeutenden Nutzeffect, wenn sie sorgfältig construirt und die Ventile mit Gegengewichten versehen sind; dennoch findet sich bei allen eine Ursache für einen sehr wesentlichen Verlust, der daher rührt, daß die Ausgangs= und Eingangsöffnungen eine zu kleine Oberfläche haben. Außerdem haben diese Maschinen den Nachtheil, daß sie die Luft nicht regelmäßig ansaugen und daß ihre Anlagekosten sehr bedeutend sind.

Sechstes Capitel.

Glockenmaschinen.

616. Diese Maschinen, die schon seit länger als einem Jahrhundert bei dem Oberharzer Bergwerke unter dem Namen des Harzer Wettersatzes bekannt gewesen sind, bestehen aus zwei blechernen Glocken, die an den beiden engen Enden eines Balanciers hängen und in einen ringförmigen Wasserbehälter untertauchen, dessen mittlerer Theil nach unten zu mit der Wetterstrecke in Verbindung steht; die oberen Theile der Glocken und der inneren Cylinder des Behälters sind mit Ventilen versehen, welche sich von unten nach oben öffnen. Es wirken diese Maschinen genau so wie die Kolbenmaschinen, indem die Kolben durch die Glocken ersetzt werden, und da die Seitentheile stets unter Wasser stehen, so findet ein luftdichter Abschluß statt, was bei den gewöhnlichen Maschinen nicht der Fall ist.

617. Eine von diesen Maschinen besteht aus zwei blechernen Glocken, von 3,50 M. Durchmesser und 2,60 M. Höhe. Glépin hat mit diesem Apparat Versuche angestellt, deren hauptsächlichste Resultate hier mitgetheilt werden sollen.

Der Lauf der Glocken bei den Versuchen betrug 1,86 M., die Anzahl der Läufe, Auf- und Niedergang 15 in 88 Secunden, und folglich die Geschwindigkeit 0,32 M.; das in der Secunde angesaugte Luftvolum belief sich auf 5,428 Q.-M. von 5,5° Temperatur, und unter einem Druck von 0,7654. Die Beobachtungen der Manometer auf der Wetterstrecke und auf den Glocken haben Anomalien gezeigt, wie sie bei den Kolbenmaschinen nicht vorgekommen sind; sie erwiesen nämlich bedeutende Schwankungen in entgegengesetzten Richtungen, eine Folge von den Schwankungen in dem kranzförmigen, mit Wasser angefüllten Gefäß in Folge der zu schnellen Bewegung der Glocke. Z. B. für eine der Glocken während ihres Aufganges waren die Manometerangaben auf der Strecke 0,125 M., + 0,01 M., — 0,030 M., + 0,17 M. Glepin hat die hervorgebrachte Arbeit berechnet, indem er die Mittelzahlen von den manometrischen Angaben nahm; er hat sie gleich 0,396 von der Triebkraft gefunden; da die Abweichungen in der entgegengesetzten Richtung bedeutend waren und man die Dauer des Druckes in den beiden Richtungen nicht kannte, so lassen sich keine wesentlichen Folgerungen aus den Versuchen machen.

618. Dr. Arnott hat zur Ventilirung des Hospitals zu York einen Glockenapparat benutzt, der die Einrichtung hatte, daß eine und dieselbe Glocke zu gleicher Zeit saugend und blasend wirkte. Der äußere Cylinder des Wasserbehälters war oben und unten in der Art verlängert, daß die Verlängerung fast gleich dem Lauf der Glocke war, jedoch durch ein Prisma mit vielen Flächen; das obere Prisma war oben geschlossen und hatte blos eine Oeffnung, die nur hinreichend war, um das Seil hindurchgehen zu lassen, an welchem die Glocke hing. Das untere Prisma trat auf die Sohle auf; die Seitenwände der beiden Prismen waren mit einer großen Anzahl von länglich viereckigen Oeffnungen versehen, deren größte Dimension die horizontale war, und sie waren durch Streifen von Wachsleinwand

geschlossen, die an dem obern Theil befestigt waren. Oben und unten ging die Hälfte der Oeffnungen in den Ansaugcanal aus, und die Wachstuchstreifen waren im Innern befestigt; die anderen gingen in die Luft aus; das Wachstuch war außerhalb angebracht. Die Glocke war zum Theil durch ein Gegengewicht ausgeglichen und seine aufgehende Bewegung erfolgte durch den Druck einer sehr hohen Wassersäule, der auf einen Kolben in einem kleinen feststehenden Cylinder einwirkte, dessen Stange auf einen Kreuzkopf wirkte, an dessen Ende die Glocke aufgehängt war. Wenn der Kolben und die Glocke an den höchsten Punkt ihres Laufes gekommen waren, so strömte das Wasser des Cylinders aus, die Verbindung mit der niedergehenden Röhre war unterbrochen und die Glocke ging durch ihr Gewicht nieder. Nachdem die Glocke ihren höchsten Standpunkt erreicht hatte, trat das Wasser in den Cylinder, so daß Kolben und Glocke wieder in die Höhe gingen. Es folgt offenbar aus dieser Einrichtung, daß das Ansaugen und das Ausströmen der Luft gleichzeitig während des Auf- und Niederganges der Glocke stattfand und daß man den Ansauge- und Ausströmungsöffnungen große Dimensionen geben konnte. Das Wachstuch erfordert aber eine bedeutende Kraft, um es zu heben, und es können sich die Oeffnungen nur sehr unvollkommen schließen; in den Biegungslinien nutzt sich aber das Wachstuch sehr schnell ab. Uebrigens hat dieser Apparat den Nachtheil aller derjenigen, bei denen die Glocke mit einer Wasserliederung versehen ist; es muß die Geschwindigkeit sehr gering sein, weil sonst das Wasser zu sehr bewegt wird. Nachrichten über den Nutzeffect des Apparates konnte sich der Verfasser nicht verschaffen.

Siebentes Capitel.

Ventilation durch Dampfstrahlen.

619. Die Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn man einen Dampfstrahl in eine Esse in der Richtung der Bewegung der Luft eintreibt, sind wegen der Expansion des Dampfes, sowie wegen der Abkühlung und Verdichtung, die aus der Expansion und aus der Erwärmung der Luft erfolgen, sehr verwickelt. Der Verfasser ist daher der Meinung, daß diese Art der Ventilirungen der Berechnung ganz entzogen sind, und daß man in Bezug auf Berechnung ihrer Nutzeffecte nur zu Versuchen seine Zuflucht nehmen kann. Auch hierüber hat Glépin sehr viele Versuche angestellt, aus denen hier Einiges mitgetheilt werden soll.

620. Der in Fig. 116 im senkrechten Durchschnitt dargestellte Apparat rührt von dem Bergingenieur Méhu her; er besteht aus sechs blechernen Röhren, T, T...., die senkrecht in der Förste der Strecke G eingelassen sind, welche Strecke mit dem Wetterschacht in Verbindung steht. Sechs Düsen von Kupferblech b.,b., dienen dazu, den durch eine von den Röhren T'T' herbeigeführten Dampf in die Mitte einer jeden Röhre

T zu treiben. Der Apparat war zur Ventilirung eines Schachtes vorgerichtet. Der Nutzeffect wurde dadurch gemessen, daß man nach und nach den Durchmesser und die Länge der Blechröhre, sowie die Form und die Ausströmungsöffnung des Dampfes veränderte.

621. Bei einem ersten Versuch hatten die Röhren 1,33 M. Höhe und 0,45 M. Durchmesser; der Dampf strömte durch eine ringförmige Düse aus, deren beide Cylinder 7 und 9 Millimeter Durchmesser hatten und deren Querschnitt 1 Quadratcentimeter war. Der Druck des Dampfes in der Nähe der Ausströmungsöffnungen betrug 5 Atmosphären und das in der Secunde angesaugte Luftvolum 1,1301 Q.-M. von 20° Temperatur und unter dem Druck von 0,7537 M. Der Ueberschuß des äußern über den innern Druck, auf der Strecke, auf welcher sich der Apparat befand, belief sich auf 0,012 Meter Wasser oder auf 10,11 M. Luft, die mit Dampf gesättigt war. Demnach betrug die producirte Arbeit 1,301 • 1,185 Kilogr. • 10,11 M. = 15,586 M. oder 0,207 Pferdekraft. Da nun der verbrauchte Dampf einer Maschine von fast 5,211 Pferdekräften entsprach, so betrug der Nutz.ff.ct nur 0,018 von der verbrauchten Triebkraft. Die Länge der Röhre wurde auf 1 Meter reducirt, der innere Druck auf 0,077 Meter.

622. Bei einem zweiten Versuch hatten die Röhren 1 M. Länge und 0,20 M. Durchmesser; der innere Durchmesser der Düsen belief sich auf 0,06 M.; der Dampfdruck betrug stets 5 Atmosphären. Das in der Secunde angesaugte Luftvolum betrug 1,616 Q.-M. von 6° unter dem Druck von 0,7536. Die innere Depression war 0,0165 Wasser oder 13,2 M. Luft; die producirte Arbeit 1,616 • 1,25 • 13,2 = 26,66 Kilogrm., oder 0,355 Pferdekraft. Da der Dampfverbrauch gleich 6,40 Pferdekräfte betrug, so war der Nutzeffect gleich 0,044 von der verbrauchten Kraft.

623. Bei einem dritten Versuch hatten die Röhren 1 M. Länge und 0,3 M. Durchmesser; die Düsen und der Dampfdruck waren dieselben wie bei dem vorhergehenden Versuch. Das angesaugte Luftvolum war 1,310 Q.-M. in der Secunde bei einer Temperatur von 8,5° und unter dem Druck von 0,7542 M. Der äußere Druck hatte über den innern einen Ueberschuß von 0,12 Wasser oder 0,676 M. Luft, und die erzeugte Arbeit war 1,31 • 1,24 Kilogr. 9,676 = 15,717 Kilogrm., oder 0,209 Pferdekraft. Der Dampfverbrauch war derselbe wie bei dem vorhergehenden Versuch und der Nutzeffect war daher gleich 0,032 von der verbrauchten Kraft.

624. Bei einem vierten Versuch endlich hatte die Röhre 1 M. Länge und 0,15 M. Durchmesser. Die Düsen waren dieselben; das angesaugte Luftvolum betrug 1,522 Q.-M. in der Secunde bei der Temperatur von 2,10° unter dem Druck von 0,7548 M. Der Ueberschuß des äußern Druckes über den innern belief sich auf 0,015 M. Wasser oder 12,14 M. Luft, und die producirte Arbeit war 1,522 • 1,235 Kilogr. 12,14 = 22,819 Kilogrm., oder 0,304 Pferdekraft. Da der Dampfdruck stets 5 Atmosphären betrug, so war die producirte Arbeit gleich 0,047 von der verbrauchten Kraft.

Nach der Angabe von **Pelletan** wurden die ringförmigen Düsen durch konische mit scharfen Kanten ersetzt und die Versuche wieder aufgenommen, indem man denselben Apparat unter denselben Verhältnissen benutzte; der Dampfdruck in der Nachbarschaft der Strahlen hatte stets

5 Atmosphären, und man veränderte die Höhen und die Durchmesser der Röhren, sowie auch die Durchmesser der Düsen. Die folgende Tabelle stellt die Resultate der angestellten Versuche dar.

Injections-Röhren.		Unterschiede der Pressungen in Wassersäulenhöhen.		
Durchmesser.	Höhen.	Strahl v. 0,01 M. Durchmesser.	Strahl v. 0,02 M. Durchmesser.	Strahl v. 0,03 M. Durchmesser
0,20 M.	1,00 M.	0,00325	0,00700	0,00975
	2,00 „	0,00450	0,00825	0,01300
	2,50 „	0,00400	0,00950	0,01500
0,30 „	1,00 „	0,00500	0,01200	0,02050
	2,00 „	0,00750	0,01800	0,02900
	2,50 „	0,00850	0,02000	0,03400
0,40 „	0,84 „	0,00350	0,00700	0,01100
	1,68 „	0,00800	0,02100	0,03700
	2,50 „	0,00900	0,02700	0,05000
0,45 „	0,83 „	0,00300	0,00900	0,00950
	2,00 „	0,00850	0,02550	0,04300
	2,50 „	0,00975	0,03000	0,05600
	3,00 „	0,00900	0,02800	0,05150
0,50 „	0,84 „	0,00350	0,00600	0,00875
	2,00 „	0,00900	0,02575	0,04900
	2,50 „	0,01050	0,02800	0,05300
	3,00 „	0,01000	0,03100	0,00600
	3,50 „	0,01000	0,03200	0,05800
0,55 „	2,00 „	0,00850	0,02400	0,03800
	2,50 „	0,00850	0,02800	0,05200
	3,00 „	0,00950	0,03100	0,06000
	3,50 „	0,00850	0,03200	0,05800

625. Es folgt aus dieser Tabelle eine wichtige Thatsache, nämlich der Einfluß der Länge der Röhre, die man übrigens leicht begreift; was man dagegen nicht leicht vorhersehen konnte, ist, daß die Grenze der Länge für mehrere Röhren überschritten wurde.

626. Glépin hat den Nutzeffect, der von einem Dampfstrahl von 5 Atmosphären hervorgebracht wurde und durch einen Ansatz von 0,03 M. Durchmesser mit Röhren von 0,50 M. Durchmesser und 3 M. Länge ausströmte, bestimmt. Das ausgeströmte Luftvolum betrug 3,285 Q.-M. in der Secunde von 17^{0} Temperatur unter dem Drucke von 0,7615 M. bei einem innern Drucke von 0,075 M. Wasser oder 47,31 M. Luft; die producirte Arbeit betrug alsdann 3,285 · 1,214 Kilogr. · 47,31 = 188 Kilogrammmeter oder 2,5 Pferdekräfte, und da die Menge des

verbrauchten Dampfes 36 Pferdekräften entsprach, so war der Nutzeffect nur gleich 0,069 von der verbrauchten Kraft.

627. Die den anderen Röhren entsprechenden Verhältnisse können von diesen letzteren abgeleitet werden; denn da die producirte Wirkung proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit multiplicirt mit dem Gewicht der angesaugten Luft oder im Wesentlichen mit der Geschwindigkeit, da die Querschnitte sich nicht verändern und die Temperatur wenig schwankt, so ist diese Wirkung fast proportional der Kraft von $\frac{3}{2}$ der Depression. Nimmt man alsdann für die verschiedenen Durchmesser der Röhren die höchsten Depressionen, so findet man, daß die für die Hülsen von 0,01 M., 0,02 M., 0,03 M. hervorgebrachten Wirkungen proportional sind den durch die folgende Tabelle gegebenen Zahlen.

Für die Cylinder von 0,20 M.	0,000318	0,00095	0,00183
„ „ „ „ 0,30 „	0,000815	0,00280	0,00620
„ „ „ „ 0,40 „	0,000850	0,00465	0,01110
„ „ „ „ 0,45 „	0,000950	0,00519	0,01320
„ „ „ „ 0,50 „	0,001000	0,00572	0,01460
„ „ „ „ 0,55 „	0,000925	0,00572	0,01460

628. Wir wollen jetzt bemerken, daß zur Vergleichung der hervorgebrachten Wirkungen mit den in Frage stehenden man sie zuvörderst auf denselben Dampfverbrauch zurückführen muß; da nun der Druck constant war, so verhält sich der Dampfverbrauch wie die Hülsenoberflächen; es müßten demnach die Zahlen der ersten senkrechten Reihe durch 9 und die der zweiten Reihe durch $\frac{9}{4}$ = 2,25 dividirt werden; dividirt man jedes dieser Producte mit 0,0146, welches dem letzten Versuche entspricht, und multiplicirt man den Quotienten durch 0,069, so wird man die Verhältnisse der producirten Wirkungen zu denen erhalten, welche aus dem verbrauchten Dampfe hervorgehen. Auf diese Weise hat man die folgenden Zahlen erhalten:

Cylinder von 0,20 M.	0,0131	0,0191	0,0086
„ „ 0,30 „	0,0345	0,0562	0,0292
„ „ 0,40 „	0,0361	0,0917	0,0520
„ „ 0,45 „	0,0405	0,1030	0,0620
„ „ 0,50 „	0,0425	0,1145	0,0690
„ „ 0,55 „	0,0393	0,1145	0,0690.

Es folgt aus dieser letztern Tabelle, daß der höchste Nutzeffect durch Röhren von 0,50 bis 0,55 M. Durchmesser bei 3 bis 3,50 M. Höhe erfolgte und daß er sich auf 0,1145 erheben würde.

629. Glépin theilt die Resultate mehrerer Versuche mit, die über die Ventilirung der Wetterschächte und der Essen durch Dampfstrahlen gemacht worden sind; alle entsprechen sehr geringen Nutzeffecten. Hier wird nur eine Versuchsreihe mitgetheilt.

Diese Esse steht mit dem Fahr- und Förderschacht in Verbindung; sie ist 39 M. hoch und hat 1,41 M. im Querschnitt; man verbrennt auf einem seitwärts gelegenen Roste in der Stunde 50 Kilogr. sehr schlechter Steinkohlen. Die Wirkung des Rostes allein veranlaßt eine Ansaugung

von 1,228 Kubikmeter in der Secunde mit einer Temperatur von 3,75°. Der Ueberschuß des äußern Druckes über den innern betrug 0,12 M. Wasser und 9,3 Meter Luft. Es war daher die ausgeführte Arbeit 1,228 • 1,29 Kilogr. • 9,3 = 14 Kilogrammmeter oder 0,196 Pferdekraft. Da man nun zu gleicher Zeit unter einem Drucke von 2,75 Atmosphären einen Dampfstrahl wirken ließ, der eine 1 Pferdekraft entsprechende Dampfmenge verbrauchte, so belief sich das Volum der ausgeströmten Luft auf 1,524 Q.-Meter in der Secunde und der Ueberschuß des Druckes betrug 0,013 M. Wasser oder 10,077 M. Luft. Man hatte daher für die bewirkte Arbeit 1,524 • 1,29 Kilogr. • 10,077 = 19,81 Kilogr.-M. oder 0,264 Dampfkraft. Die Zunahme der Arbeit war daher 0,264—0,196=0,068, und da der Dampfverbrauch 1 Pferdekraft entsprach, so belief sich der Nutzeffect der Dampfeinspritzung auf 0,068 von der verbrauchten Kraft.

630. Man ersieht aus den erwähnten Versuchen, daß der Nutzeffect eines Dampfstrahles zur Erzeugung eines Zuges in einer Esse sehr schwach und daß er selbst unter den günstigsten Umständen geringer als der der schlechtesten Maschine ist. Jedoch ist es wahrscheinlich, daß, wenn der Dampf unterbrochen eingespritzt würde, wie dies bei den Locomotiven geschieht, der Nutzeffect ein besserer sein müßte.

Es ist wahrscheinlich, daß, wenn die Dampfstrahlen ununterbrochen sind, der Dampf durch seine Expansion in der Röhre wirkt und folglich ein Ansaugen veranlaßt, als wenn ein von einer Röhre geführter Luftstrom in einen andern von einem größern Durchmesser dringt, statt daß, wenn die Strahlen unterbrochen wirken, sie sich wie ein Kolben verhalten. Jedoch sind dies nur Vermuthungen, deren directe Bestätigung sehr zweckmäßig sein würde.

Nach den Versuchen von Flachat und Petiet ist die durch unterbrochenes Einspritzen von Dampf in die Locomotivesse hervorgebrachte Arbeit gleich 0,5 bis 0,16 von der gesammten Leistung des Dampfes.

631. Der Verfasser hat einige Versuche angestellt, um das durch einen Dampfstrahl hervorgebrachte Ansaugen durch einen Luftstrom, der in eine an beiden Enden offene Röhre getrieben wird, zu beobachten. Das angewendete Verfahren bestand darin, die Ausströmungsgeschwindigkeit der Luft aus einem Gasometer durch einen kleinen Ansatz zu beobachten, wobei dieser Ansatz zuerst in die freie Luft ausging und dann in eine an beiden Enden offene Röhre mündete. Der in dem letztern Falle der steigenden Geschwindigkeit entsprechende Druck mußte sich nothwendig in dem umgebenden ringförmigen Raume zeigen. Es wurde das angesaugte Luftvolum berechnet und es war leicht, daraus das Verhältniß des Nutzeffectes zu der verbrauchten Kraft zu folgern. Es fehlte dem Verfasser an Zeit, eine hinlängliche Reihe von Versuchen zu machen, um wenigstens eine empirische Formel für die producirten Wirkungen zu erhalten; er kann daher nur die bei drei Versuchsreihen erlangten Resultate mittheilen, da sie eine wichtige Erscheinung zu bestätigen scheinen, nämlich die Existenz einer Maximalwirkung, wenn man nach und nach den Durchmesser der Saugröhre vergrößert.

In der ersten Reihe hatte die Ausströmungsröhre 0,01 M. Durchmesser und die Ansaugeröhren hatten nach und nach

0,014 M. 0,016 M. 0,018 M. 0,020 M. 0,025 M.

Unter einem Ausströmungsdrucke von 0,041 M. Wasser waren die Verhältnisse des Ansaugens zu der verbrauchten Kraft:

0,0389 0,1029 0,1338 0,1792 0,2124

Verwendete man nun eine Ausströmungsröhre von 0,008 M. Durchmesser, und hatten die Saugröhren Durchmesser von

0,012 M. 0,014 M. 0,016 M. 0,018 M. 0,020 M. 0,025 M. 0,030 M.

unter demselben Drucke wie vorher, so waren die Nutzeffecte

0,043 0,1258 0,1788 0,2187 0,2462 0,2962 0,2484

Endlich waren bei gleichem Ansatz und unter einem Wasserdrucke von 0,0565 die Durchmesser der Röhren:

0,012 M. 0,014 M. 0,016 M. 0,018 M. 0,020 M. 0,025 M. 0,030 M. 0,035 M. 0,040 M.

und die Nutzeffecte waren

0,0539 0,1360 0,2024 0,3250 0,2657 0,3082 0,2804 0,2805 0,133.

Die Röhren von 0,012 bis 0,020 M. Durchmesser hatten 20 Centimeter und die übrigen 30 Centimeter Länge.

Man könnte jedoch fürchten, daß die Arbeitsverminderung über einen gewissen Durchmesser der Saugröhren hinaus nur davon herrührt, daß die Röhre nicht hinreichende Länge hätte.

Achtes Capitel.

Verschiedene Gebläse.

632. Diese Maschinen, die man nur im Hüttenwesen zur Speisung der Heerde und Oefen benutzt, können in dem vorliegenden Werke nur ganz oberflächlich betrachtet werden.

633. Blasebälge. — Diese Gebläse, die ältesten bekannten, haben im Allgemeinen die Einrichtung der gewöhnlichen Hausblasebälge und bestehen seltener aus Leder, gewöhnlich aber gänzlich aus Holz. Ihre Bewegung wird im Allgemeinen durch Menschen- oder Wasserkräfte bewirkt. Als Hüttengebläse sind sie neuerlich fast ganz aufgegeben, während sie in den Schmieden noch gewöhnlich sind.

634. Wassertrommeln. — Auch diese Maschinen, deren Einrichtung wir als bekannt voraussetzen und von denen wir bereits geredet

haben, werden nur noch da angewendet, wo das Hüttenwesen oder die Wetterhaltung in ihrer Kindheit befindlich sind, d. h. in einigen Gebirgsländern und bei bedeutenden Wassergefällen. Ihr Nutzeffect beträgt 0,10 bis 0,15 Proc.

635. Cagniardellen. — Man bezeichnet hiermit eine archimedische Schraube, die in umgekehrter Richtung von derjenigen betrieben wird, welche zur Wasserhebung erforderlich ist. Durch diese Bewegung geht die Luft in der Schraube hinab und strömt durch eine Röhre aus, die an dem untern Theile angebracht ist. Es werden diese Maschinen nur sehr wenig angewendet.

636. Kolbengebläse. — Diese Maschinen sind ähnlich denen, welche im fünften Capitel angegeben worden, nur bestehen die Cylinder, sobald es auf eine stark gepreßte Luft ankommt, aus Gußeisen und es sind die Klappenventile zum Eindringen und Ausdrücken der Luft an den Wänden und den Böden der Cylinder angebracht.

637. Man hat die Cylindergebläse neuerlich dadurch zu verbessern gesucht, daß man statt der Klappen Schieberventile angebracht hat, und hat dadurch den Nutzeffect sehr wesentlich gesteigert.

Neuntes Capitel.

Ventilation durch angesammelte Kraft.

638. Wir beschließen das über die mechanische Ventilation Gesagte mit einigen Worten über die Ventilation durch angesammelte Kraft. Wenn die Luft nur eine geringe Geschwindigkeit erlangen muß und wenn sie nur wenig Widerstand findet, so könnte man, da die zu ihrer Bewegung erforderliche Kraft gering ist, in einigen Stunden eine gewisse Quantität der Arbeit produciren, die man alsdann nach und nach in einem längern Zeitraume verbrauchte. Wir wollen z. B. annehmen, daß eine Ventilation von 1000 Kubikfuß Luft in der Stunde bewirkt werden müsse und daß die Einströmungsgeschwindigkeit in die Ventilationsesse 1 Meter in der Secunde betragen solle, daß endlich die Widerstände aller Art die Geschwindigkeit auf ein Drittel von derjenigen vermindern, welche sie ohne diese Widerstände haben würde. Die zu verbrauchende Kraft wird dieselbe sein, als wenn keine Widerstände vorhanden wären, und die Ausströmungsgeschwindigkeit würde 3 Meter betragen; die Arbeit in der Secunde $pv^2 : 2g$ würde daher sein

$$\frac{1000 \cdot 1{,}3}{3600} \cdot \frac{9}{19{,}62} = 0{,}165 \text{ Kilogrammmeter.}$$

Für 10 Stunden würde die Arbeit gleich sein $0{,}465 \cdot 3600 \cdot 10 = 5945$ Kilogrammmeter. Nun beträgt die Arbeit eines Menschen in der

Secunde etwa 1 Kilogrammmeter und in der Stunde 25200 Kilogrammmeter. Es könnte daher ein Mensch bei einer stündlichen Arbeit fast das Vierfache von dem produciren, was der Ventilator verbrauchen könnte. Wenn demnach ein oder zwei Menschen, je nachdem es erforderlich ist, während 1 Stunde ein gewisses Quantum heben könnten, welches alsdann langsam 10 Stunden lang hinabfiele, so könnte der Fall eine 10 Stunden lang andauernde Ventilation hervorbringen. Diese Art der mechanischen Ventilation würde in sehr vielen Fällen zweckmäßig sein, um die nächtliche Ventilation mittelst einer Arbeit am Tage auszuführen. Der Apparat könnte auf sehr mannichfache Weise angebracht werden: man könnte den Fall eines festen Körpers oder des Wassers verwenden. Im erstern Falle würde der Körper mittelst einer Winde gehoben werden, der Niedergang des Gewichtes würde sich dem Ventilator mittheilen und man würde das Gewicht und die Bewegungsübertragungen in der Art reguliren, daß der Ventilator die zweckmäßige Geschwindigkeit hätte. In dem Falle, in welchem man das Wassergefälle anwendete, könnte man es auf eine kleine Turbine wirken lassen, deren Welle mit dem Ventilator versehen ist. Ebenso könnte man auch die weiter oben (618) betrachtete Vorrichtung von Dr. Arnott benutzen. Man würde ähnliche Resultate erlangen, wenn man das Wasser in Regenform in einen senkrechten Canal fallen ließe, der mit seinem obern Theile mit dem zu ventilirenden Raume und mit seinem untern mit der Lüftungsesse in Verbindung stände.

Fünftes Buch.

Von den Feuerheerden.

639. Die ersten Heerde bestanden einfach aus einem unter dem zu erwärmenden Körper angebrachten Raume, auf welchem man das Brennmaterial anhäufte. Später, als man die Nothwendigkeit erkannte, dem Heerde einen Mantel zu geben, um Wärmeverluste zu vermeiden, bestanden die Heerde aus einem geschlossenen Raume, der mit einer einzigen Oeffnung zur Einführung der Luft und des Brennmaterials versehen war. Erst lange nachher erfand man die Roste, auf welche man das Brennmaterial legte, und es ist wahrscheinlich, daß die Roste durch die Benutzung der Steinkohlen, welche sonst nur schlecht brennen, hervorgerufen wurden.

640. Ein Heerd besteht jetzt aus der Oeffnung, durch welche die Luft eintritt, aus einem Raume, in welchem sich die Asche ansammelt und den man den Aschenkasten oder Aschenfall nennt, aus dem Roste, auf welchen man das Brennmaterial legt, und aus einem Raume, in welchem sich die Flamme entwickelt und der den eigentlichen Heerd bildet. Es sind jedoch, wie wir weiter unten sehen werden, diese verschiedenen Theile nicht immer getrennt.

Die Heerde haben sehr verschiedenartige Formen, nicht allein wegen der verschiedenen Beschaffenheit des Brennmateriales, sondern auch, bei einem und demselben Brennmaterial, je nach der zu erlangenden Wirkung. Wir werden zuvörderst von den gewöhnlichen, im Allgemeinen in den Fabriken angewendeten Heerden reden, dann die verschiedenen Einrichtungen untersuchen, die zu ihrer Verbesserung vorgeschlagen oder die zur Verbrennung specieller Brennmaterialien bestimmt sind.

Erstes Capitel.

Von den gewöhnlichen Heerden mit gerader Flamme.

641. Die Heerde ohne Rost haben gegen diejenigen mit Rost große Nachtheile, weil, wenn der Luftstrom von der Seite herbeikommt, ein großer Theil dieser Luft das Brennmaterial nicht durchströmt. Es sollten daher diese Heerde, obgleich ihre Einrichtung weit einfacher als die der übrigen ist, gar nicht benutzt, ja sie sollten überall da verboten werden, wo die

Brennmaterialersparung berücksichtigt werden muß, oder wo andere Rücksichten ihre Anwendung nicht bedingen. Bei Steinkohlen kann man sie gar nicht benutzen, weil dieselben ohne Rost nur langsam und unvollkommen verbrennen.

Die Figur 117 stellt einen Durchschnitt von einem gewöhnlichen Feuerheerde mit Rost dar, dessen einzelne Theile wir nun nach einander untersuchen wollen.

642. Oeffnung zum Eintritt der Luft. — Diese Oeffnung muß einen mindestens eben so großen Querschnitt haben, als die Esse; jedoch hat es nie Nachtheile, sie größer zu machen, besonders wenn die Luft außerhalb aufgefangen wird, und wenn sie erst, ehe sie zum Rost gelangt, einen langen Canal durchströmen muß.

Es ist stets zweckmäßig, die Aschenfallöffnung mit einer Thür zu versehen, mittelst deren sie dicht verschlossen werden kann. Diese Thür und die Essenregister, wovon wir (521) geredet haben, gestatten es, das Durchströmen der Luft durch den Ofen während der Unterbrechung des Betriebes und daher auch die Abkühlung zu verhindern, wodurch wesentlich an Brennmaterial erspart wird.

Im Allgemeinen kann man den Einströmungsöffnungen jede beliebige Lage und Richtung geben. Das Auffangen der Luft kann innerhalb oder außerhalb des Gebäudes stattfinden; ersteres ist jedoch das Allgemeinere. Die Oeffnung des Aschenfalles wird alsdann unter der Feuerthür angebracht; zuweilen liegt sie in der Ebene der Sohle und ist alsdann mit einem eisernen Roste verschlossen, allein diese Einrichtung wird nur bei einem Roste angewendet, auf dem man Holz verbrennt, da sie die Reinigung des Rostes erschwert. Zuweilen läßt man die Luft durch mehrere an den Seiten des Ofens angebrachte Oeffnungen eintreten, allein diese schwierigere Entwickelung hat durchaus keinen Vortheil, wenn sich der Ofen in einem verschlossenen Gebäude befindet und wenn die Oeffnungen in den Raum selbst ausgehen.

643. Wenn das Auffangen der Luft außerhalb des Fabrikgebäudes bewirkt wird, so hat dies mehrfache Vortheile: 1) ist der Zug bei übrigens gleichen Verhältnissen lebhafter, weil im Allgemeinen die Temperatur in dem Gebäude höher ist als die atmosphärische; der Druck auf die Oeffnung eines nach außen gehenden Canales ist bedeutender, als die auf eine Oeffnung innerhalb des Gebäudes stattfindende. 2) Wenn die Luft außerhalb aufgefangen wird, so vermindern die eine entgegengesetzte Richtung von der Einführung der Luft habenden Winde den Zug, und diese Verminderung ist um so größer, je geringer der Zug ist; während man bei einer äußern Luftansaugung diesen Einfluß gänzlich aufzuheben im Stande ist.

Wenn man die Luft an einem offenen Orte, in einer hinreichenden Entfernung von den Gebäuden auffangen kann, so haben die Winde keinen Einfluß auf den Zug. Im entgegengesetzten Falle muß man aber die Fänge vervielfachen, damit bei allen möglichen Richtungen der Winde ein günstiger vorhanden ist. Vier würden hinreichend sein; da die Winde aber selten an einem und demselben Orte mehr als zwei verschiedene Richtungen haben, so reichen im Allgemeinen zwei Fänge hin; liegt nun die Oeffnung des Gebäudes schon in einer von diesen Richtungen, so würde eine einzige mit einem Fange im Innern des Gebäudes hinreichend sein. Wir haben (558) Apparate beschrieben, durch welche die Winde auf die Ein-

führung der Luft unter einen Rost durch einen einzigen Canal stets eine günstige Einwirkung haben müssen. Wird die Luft außerhalb des Gebäudes aufgefangen, so muß der Canal einen großen Querschnitt haben, hauptsächlich wenn er sehr lang ist, damit die Luft nur eine geringe Geschwindigkeit erlange, und damit der Zug nicht wesentlich durch die Reibungen vermindert werde.

644. Der Aschenfall ist der freie Raum unter dem Roste, dessen Größe ganz willkürlich ist; nur darf er nicht eng und sein geringster Durchschnitt muß hinreichend sein, um die zur Verbrennung erforderliche kalte Luftmenge einströmen zu lassen.

645. Der Boden des Aschenfalles ist häufig mit einer einige Centimeter hohen Wasserschicht bedeckt. Dieses kleine Becken absorbirt die strahlende Wärme des Rostes von oben nach unten, löscht die niederfallenden Zünder oder Rostcokes aus, vermindert die Temperatur am untern Theile des Rostes, wodurch er sich längere Zeit erhält und nicht so stark durch die anhängenden Schlacken verstopft wird. Außerdem giebt der sich entwickelnde Wasserdampf, welcher beim Durchströmen des Rostes zersetzt wird, der Flamme eine größere Länge und erhält sie, wenn die in Cokes verwandelten Kohlen bei einem trockenen Luftzuge keine Flamme mehr geben. Eine solche Einrichtung ist hauptsächlich in den Leuchtgasfabriken vortheilhaft, indem in denselben die Heerde eine hohe Temperatur haben.

646. Die Roste bestehen aus guß- oder schmiedeeisernen, parallel neben einander liegenden Stäben. Ihre Dicke und ihre Entfernung von einander hängen von der Größe der Brennmaterialstücke ab, denn diese Zwischenräume müssen nur die Asche durchfallen lassen. Bei großen Heerden giebt man den Stäben im Allgemeinen eine Breite von 3 Centimetern, und man läßt zwischen ihnen einen Zwischenraum von ungefähr 1 Centimeter. Dennoch ist es vortheilhaft die Zwischenräume zu vermindern, sobald Steinkohlenklein oder solche Materialien verbrannt werden müssen, die sich in dem Heerde und in dem Maaße theilen, daß die Verbrennung Fortschritte macht und wovon ein Theil der Asche durchfallen könnte.

647. Wenn die Roste eine sehr hohe Temperatur erzeugen sollen, wie dies im Allgemeinen bei den Schmelzöfen der Fall ist, so haben sie nur eine geringe Dauer. Der Ingenieur Corbin hat daher die glückliche Idee gehabt, schmiedeeiserne Rohstäbe von bedeutender Höhe von 0,30 M. anzuwenden; die Hitze auf dem Rost theilt sich den Stäben von oben nach unten, sowie auch der zur Speisnng des Rostes erforderlichen Luft mit, und es erhalten sich alsdann die Roststäbe besser.

648. Bei den meisten mit Steinkohlen gefeuerten Rosten feststehender Generatoren betragen die Zwischenräume zwischen den Stäben fast ein Viertel von der Rostoberfläche, und die gesammte Oberfläche entspricht fast einem Verbrauch von 1 Kilogr. Steinkohlen in der Stunde. Jedoch giebt es Heerde, deren Roste weit größer, und andere, die weit kleiner sind; die äußersten Grenzen entsprechen dem Verbrauch von 0,2 bis 1,5 Kilogr. auf das Quadratdecimeter und in der Stunde. Die Unbestimmtheit, welche über die zweckmäßigsten Dimensionen der Rostoberflächen und der Dicke der Brennmaterialschichten auf denselben existirt, rührt davon her, daß sie mit der Beschaffenheit des Brennmaterials und mit der Dicke der Stücke desselben verschieden sind. Es liegt diese Verschiedenheit aber auch darin, daß man dieselbe Menge desselben Brennmaterials in derselben Zeit, auf Rosten von

sehr ungleichen Dimensionen, durch sehr verschiedene Luftvolumina verbrennen kann, wobei man jedoch auch ganz verschiedene Nutzeffecte erlangt. Wir werden auf die Frage über die Dimensionen der Steinkohlenroste zurückkommen, wenn wir die verschiedenen Heerdformenarten untersucht haben werden.

649. Für die holzverbrennenden Heerde müssen die Roste weit kleiner sein als für Steinkohlen, zuvörderst, weil zur Verbrennung von 1 Kilogr. Holz weniger Luft erforderlich ist, als zur Verbrennung von 1 Kilogr. Steinkohle, und dann, weil sich die Oeffnungen nicht verstopfen. Nach den Beobachtungen von Ed. Köchlin ist zur Verbrennung von 350 Kilogr. alten Eichenholzes in der Stunde ein Rost von 1 Quadratmeter und mit einem Viertel freier Oberfläche erforderlich, welches auf 10 Kilogr. Holz fast 3 Quadratdecimeter macht, und diese Zahl nehmen wir hier an. Diese Dimensionen sind auch für Torf und für Lohsteine zweckmäßig.

Bei Cokes muß man auf eine Verbrennung von 3 bis 4 Kilogr. auf 1 Quadratdecimeter des Rostes rechnen.

650. Wir wollen jetzt die Construction des Rostes untersuchen. Im Allgemeinen bestehen die Roststäbe aus Gußeisen, und haben die in den Figg. 118, 119, 120, 121 und 122 angegebene Form; in der Mitte sind sie höher als an den Enden (Figur 118), damit sie der Durchbrechung besser widerstehen können. Ihre Dicke vermindert sich von oben nach unten (Fig. 122), damit der Zutritt der Luft, das Durchfallen der Schlacken und die Reinigung des Rostes mittelst eines platten Hakens, den man unter den Rost und unter die Stäbe einführt, erleichtert wird. Die Roststäbe sind an den beiden Enden, und bei großer Länge auch in der Mitte mit Verstärkungen versehen (Fig. 118 und 119), welche halb so stark sind, als der Zwischenraum zwischen den einzelnen Stäben beträgt; zuweilen bringt man diese Verstärkungen auch nur auf der einen Seite an (Fig. 120.) Die Figur 121 stellt die Adjustirung der Stäbe dar; sie ruhen auf ihren Enden auf guß- oder schmiedeeisernen Balken, die in das Mauerwerk eingelassen sind. Die Dicke eines jeden Roststabes an dem obern Theile ist von 15 bis 30 Millimeter veränderlich, und bei 1 Meter Länge verändert sich die Höhe in der Mitte um 8 bis 10 Centimeter. Es ist offenbar, daß man an den Enden des Rostes einen hinreichenden Spielraum lassen muß, damit sich die Stäbe frei ausdehnen können. Man nimmt diesen Spielraum von $^1/_{24}$ von der Länge der Stäbe an. Alle gußeisernen Gegenstände behalten nach ihrer Erkaltung einen Theil von der erlangten Ausdehnung. Eine Gasretorte hatte nach drei Bränden und Wiedererkalten eine Längenzunahme von $^1/_{27}$ erlangt. Dr. Brix in Berlin, der ausgedehnte Versuche über die Brennmaterialien anstellte, fand, daß ein Roststab nach 17tägigem Gebrauch eine Verlängerung von 2 Procent beibehalten hatte, während ein anderer, nach einer noch längern Benutzung, sich sogar um 3 Procent verlängert hatte. Diese Verlängerungen nähern sich einem Maximum in dem Maaße, als sich die Abwechselungen vervielfältigen.

651. Gewöhnlich sind die Roste horizontal, jedoch giebt man ihnen zuweilen eine Neigung nach dem Hintertheil des Heerdes (Fig. 123); eine solche Einrichtung ist bei sehr flammenden Brennmaterialien zweckmäßig.

652. Um das Herausfallen der Schlacken zu erleichtern, hat man die in Fig. 124 angegebene Vorrichtung angewendet. Der Rost ist geneigt und über sein Ende hinaus befindet sich eine Art Trichter, in wel-

chem man die Schlacke stößt, die man mittelst eines Schiebers, den der Heizer leicht bewegen kann, in den Aschenkasten fallen läßt.

653. Wenn die Steinkohlen sehr backend sind und den Rost zu bedeutend verstopfen, so wendet man die in Fig. 125 angedeutete Einrichtung an. Der Rost besteht aus quadratischen Eisenstäben, die vor der vordern Wand des Ofens hervorstehen. Es kann alsdann der Feuermann, ohne die Thür zu öffnen, nach und nach jeden von diesen Stäben bewegen und die Schlacken, die sich an denselben angesetzt haben, dadurch entfernen und in den Aschenkasten fallen lassen. Es wird diese Einrichtung hauptsächlich bei den Rosten der Flammöfen angewendet, in denen die Temperatur höher sein muß als in den Dampfkesselöfen, aus welchem Grunde auch jede Oeffnung des Schürloches zum Reinigen des Rostes nachtheilig ist.

Man hat Roste von sehr verschiedener Einrichtung und Form zur Erlangung einer bessern Verbrennung angewendet, von denen wir in den folgenden Capiteln reden.

654. Der Raum über dem Roste muß eine hinlängliche Ausdehnung haben, um das Brennmaterial aufnehmen zu können und die Entwickelung der Flamme zu gestatten. Die Dicke der Brennmaterialschicht auf dem Rost läßt sich nur schwierig bestimmen, denn man befindet sich zwischen zwei Uebeln, die man beide zu vermeiden suchen muß: ist die Dicke der Schicht zu gering, so entgeht ein Theil der durch den Rost strömenden Luft der Verbrennung und man muß alsdann in zu geringen Zwischenräumen schüren, welches beides Umstände sind, wodurch der Nutzeffect des Brennmaterials vermindert wird. Andererseits aber kann bei einer zu dicken Schicht die Luft nur schwierig hindurchströmen, und es entwickeln sich alsdann sehr viel Rauch und viel brennbare Gase. Man wird daher einsehen, daß es unmöglich ist, eine genaue Regel über die Dicke des Brennmaterials, welches man auf dem Rost aufhäufen muß, zu geben, weil dieselbe nicht allein von der Beschaffenheit, sondern auch von der Größe der Brennmaterialstücke abhängt.

Der Raum über dem Brennmaterial zwischen dem Rost und dem Kessel ist nicht willkürlich; wenn der Kessel dem Rost zu nahe läge, so würde er, da er eine bei Weitem geringere Temperatur hat, als die Flamme, dieselbe verlöschen, und man würde folglich viel Rauch und eine schlechte Verbrennung erreichen. Wenn er dagegen zu entfernt wäre, so würde er nur einen Theil der Wärmestrahlung aufnehmen können, und es würde ebenfalls ein Verlust am Nutzeffect erfolgen, weil die warme Luft mit einer zu hohen Temperatur ausströmen würde.

655. Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei Rosten, auf denen Steinkohlen verbrennen, zwischen dem Roste und dem Kessel, oder der untern Seite der Siederöhren ein Raum von 30 bis 35 und bei sehr großen Kesselöfen ein Raum von 40 Centimetern vorhanden sein muß.

Diese Entfernung muß bei Rosten, auf denen Holz verbrennt, 70 bis 75 Centimeter, bei solchen, die mit Torf gefeuert werden, 50 bis 55, und bei solchen, die Cokes verbrauchen, etwa 60 Centimeter betragen.

656. Wenn der Kessel auf eine sehr hohe Temperatur gebracht werden müßte, die nur wenig verschieden von derjenigen ist, welche die warme Luft bei ihrem Abzug von dem Roste hat, so müßte man den Kessel mitten in die Flamme bringen, und die Circulation der warmen Luft fast gänz-

lich unberücksichtigt lassen, da sie ihn in gewissen Fällen abkühlen könnte; wegen der hohen Temperatur des Kessels dürfte auch die Temperatur nicht verzögert werden. Es würde alsdann ein bedeutender Wärmeverlust stattfinden, der jedoch unvermeidlich sein würde, weil, wie wir schon gesehen haben, die Luft mit keiner geringern Temperatur entweichen muß, als die der erhitzte Körper hat, und folglich der Wärmeverlust um so größer sein würde, je höher die Temperatur des Kessels wäre.

657. Der Verfasser hat wiederholt zu finden Gelegenheit gehabt, daß eine wesentliche Brennmaterialersparung stattfindet, wenn man den zu erhitzenden Körper, sobald er rothglühend werden soll, dem Rost nähert, daß man ihn dagegen in Beziehung auf Brennmaterialersparung von dem Roste mehr entfernen müsse, wenn er nur eine wenig über 100° betragende Temperatur erreichen soll, wenigstens sofern das Brennmaterial flammt.

658. Man wird leicht einsehen, daß wenn man die Entfernung des Kessels vom Roste steigert, man die strahlende Wärme, die er aufnimmt, vermindert und daß diese Menge fast im umgekehrten Verhältniß zu dem Quadrat der Entfernung verschieden sein muß. Es scheint aber, daß diese Verminderung durch Zunahme der Seitenflächen, die auf den Kessel ausstrahlen, und durch eine höhere Temperatur der von dem Roste ausströmenden Gase erreicht werden muß, denn wenn man annimmt, daß durch die Oberfläche des Ofens keine Hitze verloren gehen soll, so muß alle Wärme, die nicht auf den Kessel ausgestrahlt ist, sich in der warmen Luft wiederfinden. Dies ereignet sich wirklich, und wenn die Heizoberflächen eine hinreichende Ausdehnung hätten, so daß die Gase sich vollständig abkühlen könnten, so würde der erzeugte Nutzeffect sicher unabhängig von der Entfernung des Kessels vom Roste sein, vorausgesetzt, daß dieser Raum hinreichend zur Verbrennung der Gase wäre. Da aber die Heizoberfläche beschränkt ist, so ist es nicht zweifelhaft, daß die in die Esse einströmende Luft eine um so höhere Temperatur habe, je höher sie beim Eintritt in die Canäle ist.

659. Da die Roste, auf denen Holz verbrannt wird, eine größere Höhe haben, und da die Brennmaterialschicht und der zur Verbrennung erforderliche Raum größer sein müssen, so giebt man ihnen eine eigenthümliche Einrichtung; Figur 126 ist eine derselben; der Rost ist horizontal und liegt in geringer Höhe über der Sohle; die Luft strömt durch ein Gitter, welches in der Ebene der Fabriksohle vor dem Ofen liegt, und der Heerd ist mit zwei Thüren versehen, mit einer höhern zum Schüren, und mit einer untern, welche zur Entleerung dient. Man wendet auch häufig die in Fig. 123 angegebene Einrichtung an. Man kann 40 Centimeter für die Entfernung vom Anfang des Rostes und des Kessels annehmen und 80 Centimeter für die von seinem andern Ende. Aehnliche Einrichtungen können für die Heerde, welche Torf und Cokes verbrennen, benutzt werden.

660. Die Heerde sind stets zur Seite und am Boden umschlossen. Zuweilen erhöht man die Bodenmauer um so mehr, um die Flamme und die verbrannte Luft in einem desto engern Raum gegen den Kessel zu drängen. Jedoch ist diese Einrichtung nicht vortheilhaft, indem sie das Nachtheilige hat, die Ausdehnung des Theiles von dem Kessel, welcher die Strahlung des Heerdes aufnimmt, zu vermindern, und den Kesselboden stark anzugreifen.

661. Die Heerd- oder Feuerthüren. — Zwischen dem Ende des Rostes und der Feuerthür muß ein Zwischenraum von 30 bis 40 Centimetern, je nach der Größe des Ofens bleiben. Wenn die Entfernung zu gering ist, so werden die Thüren rothglühend, welches einen Wärmeverlust veranlaßt, und ihre schnelle Zerstörung herbeiführt. Es wird dieser Raum gewöhnlich von einer gußeisernen Platte, die in das Mauerwerk eingelassen, oder von eisernen Stäben getragen wird, eingenommen. Der Thürrahmen muß bis zum Rostende gehen.

662. Die Thüren müssen nur so weit sein, daß das Schüren mit Leichtigkeit bewirkt werden kann; ihre Breite hängt von der der Roste ab, und ihre Höhe beträgt 25 bis 35 Centimeter. Jetzt bestehen sie stets aus Gußeisen, und vor denselben, an der Vorderwand des Ofens, sind gußeiserne Platten angebracht, welche durch Bolzen, die in dem Mauerwerk eingelassen sind, festgehalten werden.

663. Die Thüren haben eine oder zwei Klappen, je nachdem sie kleiner oder größer sind; in dem letztern Fall werden sie nie verschlossen, sondern die Reibung in den Angeln erhält sie so, und der Heizer bewegt sie mittelst eines Hakens. Häufig verlängert sich die gußeiserne Platte, an welcher die Thüren befestigt sind, nach aufwärts, um als Träger der Siederöhren zu dienen, während sie nach unten zu auch die Aschenfallthür umfaßt. Eine solche Einrichtung ist in Fig. 127 dargestellt. Die Aschenfallöffnung wird mittelst einer genau schließenden gußeisernen Platte verschlossen und durch zwei sich drehende Riegel festgehalten.

664. Wenn die Dampfkessel für Niederdruckdämpfe eingerichtet sind, und keine Sieveröhren haben, so würde, da sich vor dem Kessel ein Rauchcanal befindet, zuweilen eine zu große Entfernung von der Thür zum Rost vorhanden sein, wenn man die Thür in der Ebene der vordern Seite des Ofens anbrächte. Um sie dem Kessel zu nähern, unterstützt man an der vordern Seite das Mauerwerk durch einen Gewölbbogen oder durch eine geneigte, gußeiserne Platte, oder man bringt die Feuerthür in einem vertieften Gewände von Gußeisen an. Die erstere Vorrichtung ist die zweckmäßigere und auch allgemeiner angewendete.

665. Bei manchen Dampfkesseln besteht der Feuerthürverschluß aus einer einfachen Blechplatte von 2 bis 3 Millimeter Dicke, die in der Mitte mit einer runden Oeffnung versehen ist und frei in der Thüröffnung steht; man handhabt sie mittelst einer eisernen Stange, die man in die Oeffnung einführt. Diese Art des Verschlusses, die wenig kostet und bequem ist, hat übrigens große Nachtheile. Die Blechplatten schließen nie gut, sie lassen viel kalte Luft sowohl an den Rändern, als auch durch das stets offene Loch eindringen; sie sind fast stets glühend, und es geht daher durch dieselben viel Wärme verloren. Es wird daher ihre wohlfeile Einrichtung durch die wesentlichen Wärmeverluste, die sie verursachen, mehr als aufgehoben.

666. Zuweilen bringt man hinter der Thür und parallel mit derselben in einer Entfernung von einigen Centimetern eine Blechplatte an, die durch vier Bolzen an der Thür festgehalten wird. Durch diese Einrichtung wird das Glühen der eisernen Thür und deren Temperatur sehr vermindert.

667. Zuweilen sind die Thüren im Innern mit einem eisernen Rahmen versehen, der mit Ziegelsteinen ausgefüllt wird. Diese Einrichtung ist zur Verminderung des Wärmeverlustes sehr zweckmäßig, ganz besonders bei

großen Kesselöfen, weil dadurch die Entfernung des Rostes von der Thür vermindert werden kann.

668. Wenn die Oefen, von denen wir hier reden, mit Steinkohlen gefeuert werden, so haben sie fast alle den wesentlichen Nachtheil, besonders im Augenblick des Einschürens, vielen Rauch zu geben. Dadurch wird ein Brennmaterialverlust veranlaßt, und außerdem ist auch der Rauch den benachbarten Wohnungen sehr unbequem und oft nachtheilig. Außerdem erhalten diese Oefen auch weit mehr Luft, als zur Verbrennung erforderlich ist, wodurch ein bedeutender Nutzeffect veranlaßt wird.

669. Zur Vermeidung der hier angegebenen Nachtheile sind sehr viele Versuche gemacht. In der letztern Zeit sind die Anstrengungen auf die sogenannte Rauchverbrennung oder vielmehr auf die Mittel gerichtet gewesen, die Entstehung des Rauches zu verhindern. In London und Paris, wo in den letzteren Jahren Dampfgeneratoren in sehr ausgedehnter Weise zugenommen haben, wozu auch noch Dampfschiffe und Locomotiven kommen, existiren in dieser Beziehung sehr bestimmte Gesetze.

670. In Folge derselben muß die Raucherzeugung gänzlich vermieden, oder es dürfen nur Brennmaterialien benutzt werden, die gar keinen Rauch geben. Leider haben die englischen und französischen Gesetze unerfüllt bleiben müssen, da bis jetzt noch kein eigentlich rauchverzehrender Apparat erfunden worden ist. In Deutschland existiren dergleichen Gesetze noch nicht, jedoch bringt es das gemeine Recht aller Länder mit sich, auf Schadenersatz klagen zu können, wenn wirkliche Eigenthumsbeschädigungen durch den Rauch veranlaßt werden.

Zweites Capitel.

Verschiedene Formen von Heerden.

Heerde mit umgekehrter Flamme.

671. In sehr vielen Oefen hat die Flamme eine größere oder geringere Neigung, und zuweilen ist sie von dem Heerde ganz abgewendet; dieser Umstand aber, der ganz unabhängig von der Richtung der Flamme in dem Heerde, ist jedoch nicht derjenige, von dem wir hier reden wollen; wir handeln hier von der Flamme, die sich vom Anfang an in einer von der natürlichen entgegengesetzten Richtung entwickelt.

672. Die Flamme erhebt sich senkrecht in Folge der specifischen Leichtigkeit, welche die Wärme den brennbaren Gasen und den durch die Verbrennung herbeigeführten giebt. Diese Richtung kann aber nur in einer ruhigen oder in einer Luft vorhanden sein, die sich in der Richtung bewegt, welche die Flamme natürlich verfolgt. Wenn die Bewegung der Luft eine andere Richtung hat, so nehmen die brennbaren Gase eine solche an, die von ihrer eigenen und von der Geschwindigkeit der Luft herrührt; und

wenn die Geschwindigkeit des Luftstroms in Beziehung auf die der sich entwickelnden Gase sehr groß ist, so folgt die Flamme im Wesentlichen der Richtung dieses Stromes. Es folgt daraus, daß wenn der Strom durch den obern Theil des Ofens eintritt, die Flamme sich senkrecht von oben nach unten verbreiten würde. Um nun diese Bewegung zu veranlassen, würde es hinreichend sein, wenn der unter dem Roste befindliche Raum mit einer vorher erwärmten Esse in Verbindung stände.

673. Die Heerde mit umgekehrter Flamme gewähren den Vortheil, den Rauch vollständiger als die übrigen zu verbrennen, da die brennbaren Gase, welche sich wegen ihrer geringen Dichtigkeit in Beziehung auf die Luft von Natur zu erheben streben, gewissermaßen dem Luftstrom entgegentreten, und aus demselben Grunde sind auch die Flammen weit kürzer. Bei Steinkohlenfeuerung können aber Oefen dieser Art nicht angewendet werden; die Roste würden mit der glühenden Oberfläche des Brennmaterials in Berührung stehen und daher sehr bald zerstört werden. Diesen Nachtheil haben die gewöhnlichen Heerde nicht, da die Roste von der die Verbrennung unterhaltenden Luft fortwährend abgekühlt werden; auch ist außerdem die Verbrennung nur bis auf eine gewisse Entfernung über dem Roste zu unterhalten.

674. Man hatte den Vorschlag gemacht, bei der Dampfkesselfeuerung die Steinkohle mit umgekehrter Flamme auf Rosten zu verbrennen, die hohl, fortwährend mit Wasser angefüllt waren und mit dem Kessel in Verbindung standen. Die Stäbe würden auf diese Weise aus einer großen Anzahl kleiner Siederöhren bestanden haben, die hinreichend erhitzt werden konnten, ohne das Metall zu verändern. Es ist aber diese ganze Einrichtung zu verwickelt und sie würde zu häufige Reparaturen erfordern und keinen hinreichenden Vortheil zur Ausgleichung dieser Nachtheile gewähren.

675. Man hat auch vorgeschlagen, Roststäbe von feuerfestem Thon anzuwenden. Für Holz und Torf scheint diese Einrichtung zweckmäßig, allein bei Steinkohlen und Cokes würden sich die Rückstände auf dem Rost verglasen und ihn sehr bald unbrauchbar machen.

676. Die Figur 128 stellt einen senkrechten Durchschnitt von einem Ofen mit umgekehrter Flamme dar, der mit Holz gefeuert wird. Der Trichter oder Rumpf, in welchen das Holz eingelegt wird, muß mit blechernen oder gußeisernen Platten bekleidet sein. Das Holz sinkt durch sein eigenes Gewicht nieder, wozu auch noch ein von dem Heizer herrührender Druck kommen kann; die Länge der Holzscheite muß gleich der Breite des Rumpfes sein, dessen Querschnitt der eines Rostes ist, welcher eine gleiche Menge Holz in gleichem Zeitraum verbrennen soll. Diese Oefen haben eine sehr gute Wirkung, ohne Rauch zu entwickeln und ohne daß sich in dem eigentlichen Heerde Asche ansammelt; alle entstehende Asche wird mit in die Canäle fortgerissen. Die Verbrennung ist so vollständig, daß die Canäle kaum geschwärzt werden. Der Verfasser hat Gelegenheit gehabt, mehrere Kesselöfen von solcher Einrichtung zu beobachten, welche sehr genügende Resultate gaben.

Obgleich nun die mit Holz gefeuerten Kesselöfen mit umgekehrter Flamme, wenigstens die vom Verfasser beobachteten keinen Ruß absetzen, so ist es doch zweckmäßig, sie mit den Mitteln zur Reinigung der Canäle zu versehen. Zu dem Ende muß in dem Boden und am andern Ende der

Kessel ein Raum angebracht werden, in welchen sich die Canalthüren öffnen, um sie mittelst eines Hakens, dessen Stiel man aus mehreren Stücken zusammenschrauben kann, reinigen zu können.

677. Oefen derselben Art können auch bei der Torffeuerung angewendet werden; da aber dieses Brennmaterial viel Asche hervorbringt, so müßte man den Apparat nach der in Fig. 129 angedeuteten Art vorrichten. Vor dem Rumpf befindet sich ein mit einem Gitter bedeckter Raum, in welchen der Heizer gelangen kann, um den Rost mittelst eines Hakens zu reinigen. Es würde möglich und vortheilhaft sein, stets einen geringen Luftstrom durch den Rost gelangen zu lassen. Es muß aber bemerkt werden, daß die Oefen mit umgekehrter Flamme zur Torffeuerung noch nicht versucht worden sind, und daß man daher noch nichts Positives über ihre Wirksamkeit sagen kann, obgleich es wahrscheinlich ist, daß sie eben so zweckmäßig als bei der Holzfeuerung sein würden.

678. In den gewöhnlichen Töpferöfen verbrennt man die Steinkohle in zur Seite angebrachten und gemauerten Kästen, die von allen Seiten eingeschlossen sind, nicht aber von oben, wo sie eine Thür haben, die zur Einbringung des Brennmaterials und zum Einströmen der zur Verbrennung erforderlichen Luft dient. Die an dem Ofen befindliche Wand ist mit mehreren Oeffnungen versehen, durch welche die Flamme in denselben eindringt. Diese Oefen erzeugen wenig Rauch, jedoch würden sie vortheilhaft durch die in Fig. 130 angegebenen ersetzt werden. Die Verbrennung wird durch die durch den Rost A strömende Luft gespeist, deren Menge durch das Register D, und durch das regulirt wird, welches an der Oeffnung C angebracht ist; diese letztere dient zum Einfüllen des Brennmaterials und kann mittelst des Registers geöffnet oder gänzlich verschlossen werden.

679. Man hat der Flamme auch dadurch eine andere Richtung zu geben gesucht, daß man sie (Fig. 131) unter einem Gewölbe hindurchströmen läßt. Zwei kleine Oeffnungen, deren Querschnitt durch Register regulirt wird, gestatten das Eintreten der Luft in die entzündeten Gase, während der Strom eine andere Richtung annimmt, um deren Verbrennung zu vollenden. Bei den Versuchen, die vor einigen Jahren von den Herren Thomas und Laurens mit einem Ofen von solcher Einrichtung mit Sorgfalt angestellt worden sind, wurde die Rauchbildung gänzlich vermieden, und man erlangte eine Brennmaterialersparung von etwa ein Zehntel; allein das Gewölbe wurde durch die hohe Temperatur sehr bald zerstört.

Oefen mit Zurückwerfung der Flamme.

680. Bei diesen sogenannten Reverberiröfen ist der Heerd mit einem Gewölbe von feuerfesten Ziegelsteinen versehen, und die warme Luft entweicht entweder durch warme Oeffnungen an verschiedenen Punkten dieses Gewölbes, oder wenn dasselbe cylindrisch ist, an seinem Ende. Der Ofen befindet sich auf diese Weise in einer sehr hohen Temperatur, und wenn das Brennmaterial leicht zersetzbar ist, wie der Torf, das Holz und die Backkohlen, so ist die Rauchentwickelung stärker als bei den gewöhnlichen Heerden; es kann daher mit denselben nicht erlangt werden, was man erlangen wollte, nämlich Rauchverbrennung. Außerdem haben sie den großen Nachtheil, die Erhitzung des Kessels durch Strahlung sehr zu ver-

mindern oder gänzlich zu verhindern, und folglich weit ausgedehntere Heizoberflächen zu veranlassen. Dagegen würden Oefen dieser Art sehr zweckmäßig bei Anwendung gewisser Anthracite sein, die nur mit einer hohen Temperatur verbrennen.

Oefen mit Einführung von Luftströmen auf die Flamme.

681. Einen Apparat, der ähnlich dem von dem Engländer Robertson erfundenen, aber weit einfacher ist, zeigt die Figur 132 in senkrechtem Durchschnitt. Man breitet das Brennmaterial auf dem Roste mit einem Haken aus, läßt den Rückstand mittelst eines Schiebers am Ende des Rostes fallen, und man kann die Verbrennung durch die Spalte, welche Luft auf die Flamme fallen läßt, beobachten.

Die Apparate, in denen der Rost durch einen über ihm oder in seiner Ebene angebrachten Rumpf oder Trichter gespeist wird, gewähren den Vortheil, nicht so viel Rauch wie die gewöhnlichen Kesselöfen zu entwickeln, da das Schüren fast ununterbrochen erfolgt; es ist aber schwierig, das Feuer zu regieren, und das Brennmaterial stets in einer zweckmäßigen Höhe zu erhalten.

682. Der Darcet'sche Apparat. — Bei demselben gelangt ein äußerer Luftstrom durch eine enge horizontale Spalte in der Feuerbrücke (Fig. 133) in die Flamme, und es kann der Heizer den Luftstrom nach Belieben mittelst eines Registers reguliren. Es hat diese Vorrichtung recht gute Resultate gegeben.

683. Der Apparat von Parkes. — Derselbe hat viel Aehnlichkeit mit dem vorhergehenden, und es ist bei demselben zur Vergleichung sowohl warme als auch kalte Luft angewendet worden, wodurch freilich keine verschiedenen Resultate erlangt worden sind. Man hat auch dabei den Robertson'schen Schürapparat (681) angewendet, um die Rauchbildung im Augenblicke des Schürens zu vermeiden. In Beziehung auf die Rauchvermeidung gehört dieser Apparat zu den sehr zweckmäßigen und ist auch in England gesetzlich dafür anerkannt.

684. Der Apparat von Chapman zu Whitbey. — Bei diesem Apparate wird die Luft, indem sie durch hohe Roststäbe strömt, erwärmt; sie gelangt in einen Raum hinter der Feuerbrücke, von wo aus sie durch eine horizontale Spalte auf die Flamme strömt, wie dies bei dem Darcet'schen Apparate der Fall ist. Um die schlechten Wirkungen zu vermeiden, die durch das Oeffnen der Feuerthür beim Schüren entstehen, bewirkt Chapman das Schüren durch einen Rumpf, der auf die (681) angegebene Weise über dem Roste angebracht ist. Auch dieser Apparat gab recht gute Resultate.

685. Man hat es auch versucht, in die Flamme jenseit des Rostes erhitzte Luft einzuführen, welche in gußeisernen Röhren in Canälen erwärmt wird. Die einfachste Vorrichtung dieser Art bestand aus einer gewissen Anzahl gußeiserner Kegel, die mit der äußern Luft in Verbindung standen, rautenförmig hinter dem Roste lagen und deren Oberfläche von sehr vielen kleinen Löchern durchbohrt war, mittelst deren sich die erhitzte Luft nach allen Richtungen hin verbreitete.

686. Der Apparat von Lefroy. — Dieser Apparat besteht aus einem kleinen Körper von Mauerwerk, der vor dem Ofen angebracht

ist und den Rost enthält; ein darüber angebrachter Rumpf wirft ein bestimmtes Brennmaterialvolum auf den Rost, ohne daß eine Verbindung zwischen dem Innern und dem Aeußern hergestellt worden wäre. Vier lange enge Oeffnungen sind in den Seitenwänden des Rostraumes, in dem Gewölbe und in dem Mauerwerke über dem Roste angebracht; sie sind gewöhnlich verschlossen, allein sie öffnen sich gleichzeitig mittelst eines sehr einfachen Mechanismus nach jedem Einschüren. Die Wirbel, welche der Rauch durch diese von verschiedenen Seiten herkommenden und in einen Raum von sehr hoher Temperatur eintretenden Luftströme erleidet, veranlassen eine vollständige Verbrennung des Rauches. Der Apparat, mittelst dessen man das Brennmaterial auf den Rost schürt, besteht aus einem senkrechten Blechcylinder, der durch einen Deckel verschlossen und mit dem untern Theile auf einer Blechtafel befestigt wird; diese Tafel übersteigt das Doppelte von dem Durchmesser des Cylinders. Unter dem letztern ist die Tafel mit einer Oeffnung von gleichem Durchmesser versehen, und sie läßt sich nach Belieben auf einer andern Blechtafel, die auf dem obern Theile des Rostraumes befestigt ist, verschieben. Man sieht leicht, daß durch diese Vorrichtung, wenn der das Brennmaterial enthaltende Cylinder über den Heerd geführt wird, das Brennmaterial fällt, und wenn man ihn auf die Seite zurückführt, die obere Oeffnung des Heerdes verschlossen ist; es kann daher das Schüren, ohne mit der äußern Luft in Verbindung zu kommen, bewirkt werden. Diese Apparate wurden anfänglich viel benutzt, man hat sie in vielen Fabriken vorgerichtet, aber seitdem gänzlich wieder abgeworfen, zuvörderst weil der Nutzeffect des Brennmaterials in Folge der bei jeder Schürung in den Heerd eingeführten zu großen Luftmenge verhindert wurde, dann auch, weil die Kessel in der Nähe des Heerdes leicht verbrannt wurden, und endlich, weil jede directe Heizoberfläche fehlte.

687. Versuche von Combes über den Einfluß der eingeführten Luftströme. — Wir verdanken dem General-Beiwerks-Inspector und Inspector der Bergwerksschule zu Paris sehr interessante Versuche über die Wirkungen der hinter die Roste eingeführten Luft; es sollen hier einige derselben mitgetheilt werden.

Die Versuche wurden mit dem Ofen eines Dampfkessels mit zwei Siedern von gewöhnlicher Form gemacht; die Rostoberfläche betrug 0,65 Quadratmeter, die Summe der leeren Räume aber ein Viertel von der gesammten Oberfläche; die Höhe der Esse war 20 Meter, der Querschnitt an deren oberem Ende 0,20 Q.-Meter; die Heizoberfläche des Generators belief sich auf 15 Q.-Meter. Es wurden in der Stunde auf dem Roste etwa 80 Kilogr. sehr viel Rauch entwickelnder Steinkohlen verbrannt, daher fast 1,23 Kilogr. auf das Quadratdecimeter; die Schlacken waren schwarz und teigig, so daß der Rost oft mit vieler Mühe gereinigt werden mußte. Zu beiden Seiten des Rostes war ein Canal angebracht, der sich nach außen öffnete und in einer Entfernung von 0,15 M. von der Feuerbrücke ausmündete; diese beiden Oeffnungen waren in den Seitenwänden angebracht, so daß die beiden Luftströme einander gegenüber waren. Jede Oeffnung hatte 0,20 M. senkrechte Höhe und 0,65 M. Breite; die vereinigte Oberfläche betrug 0,0234 Q.-Meter, d. h. fast 0,16 von der freien Oberfläche des Rostes und 0,12 von der der Esse am obern Ende. Die Eintrittsöffnungen der Luft konnten nach Belieben geschlossen werden. Eine andere Oberfläche war in dem Circulationscanale des Rauches um den

Kessel angebracht, um die Gase behufs ihrer Analyse auffangen zu können. Die Aschenfallöffnung war mit einer Flügelthür verschlossen, von der jeder Flügel drei länglich viereckige gleiche Oeffnungen enthielt, die zusammen eine Oberfläche von 0,168 Quadratmeter hatten und die folglich weit größer waren, als die freie Oberfläche der Roststäbe. In Zwischenräumen von 12 bis 14 Minuten wurden jedesmal fast 20 Kilogr. Steinkohlenklein eingeschürt, und während dieser Zeit reinigte man auch den Rost einmal. Hinter der Feuerbrücke war eine horizontale gußeiserne Platte mit einer großen Anzahl von Löchern angebracht, durch welche man äußere Luft herbeiführen konnte; man hat sich aber dieser Art der Luftadmission nicht bedient, da man erkannte, daß die erstere eben so wirksam war.

Wenn die Oeffnungen zum Einströmen der äußern Luft verschlossen waren, so zeigte sich ein schwarzer Rauch nach jeder Schürung, der 3 bis 4 Minuten anhielt; diesem Rauche folgte ein gelber fast von derselben Dauer, der nach und nach klar wurde, so daß er am Ende des Zeitraumes, der zwei auf einander folgende Schürungen trennte, gänzlich verschwand. Bei der Reinigung des Rostes entstand stets auch ein schwarzer Rauch, der eine Minute oder länger dauerte. Nach diesen Beobachtungen hatte man daher in jeder Stunde 18 Minuten schwarzen, 14 Minuten gelben Rauch und 28 Minuten, während denen sich gar kein Rauch entwickelte.

Wenn man nun den Steinkohlenverbrauch auf 40 Kilogr. in der Stunde verminderte, und die Zwischenräume zwischen den Schürungen 22 bis 25 Minuten dauerten, so erfolgte wenig schwarzer, weniger gelber und eine längere Zeit gar kein Rauch; durchschnittlich daher in der Stunde 2 Minuten schwarzer Rauch, 10 Minuten leichter Rauch und 47 Minuten gar keiner.

Wenn man mittelst eines Schauloches am hintern Theile des Ofens in denselben hineinsieht, so bemerkt man, daß der Canal sogleich nach dem Schüren sich mit einem dicken Rauche anfüllt, der gar keine Spur von Flamme zeigt, so daß es, unmittelbar nachdem der Heizer die Thüren des Ofens verschlossen hat, unmöglich ist, das Feuer am Ende dieses Canales wahrzunehmen. Wenn man nun in dem Augenblicke, in welchem der Rauch am Dicksten ist, die beiden Oeffnungen, welche Luft hinter die Feuerbrücke gelangen lassen, öffnet, so fängt der Rauch sofort Feuer, und verbrennt mit einer langen Flamme, welche bis zum Ende der Sieder gelangt; verschließt man aber die Oeffnung, so verlöscht die Flamme sofort. Man kann dieses Verfahren so oft wiederholen als man will, sobald man sich in der Periode befindet, daß der Ofen nur irgend dicken Rauch erzeugt. Der Beobachter an dem Schauloch unterscheidet daher vollkommen, was in dem Canale vor sich geht und die Augenblicke, in denen die Oeffnungen geöffnet oder geschlossen werden. Beobachtet man die obere Essenöffnung, so sieht man daraus Wolken von schwarzem Rauch hervorbrechen und zwar einige Augenblicke nach Oeffnung der Luftcanäle, worauf sich der Dampf klärt und durchsichtig bleibt. Der erste Ausbruch des Rauches wird durch die erste Einführung der Luft hervorgebracht, indem dieselbe den dunklen Rauch vor sich hertreibt, mit welchem die Canäle und die Esse ausgefüllt werden.

Läßt man nun die Luftlöcher fortwährend geöffnet, und ist die Verbrennung lebhaft, so entwickelt sich selbst nach den Schürungen kein schwarzer Rauch mehr. Die Entwickelung des leichten Rauches vermindert sich ebenfalls. Kurz, in einer Stunde hat man im Durchschnitt $\frac{1}{4}$ Minute schwarzen

Rauch, 21 Minuten leichten Rauch, während man 38½ Minute gar keinen Rauch wahrnehmen kann.

Wenn die Luftlöcher halb geöffnet sind, so hat man im Durchschnitt eine minder lebhafte Verbrennung; in einer Stunde hat man 1 Minute schwarzen, 23 Minuten leichten Rauch, während 36 Minuten rauchlos sind.

Bei langsamer Verbrennung bleibt der Rauch fast derselbe, mag man die Luftlöcher nun gänzlich geöffnet oder zur Hälfte verschlossen haben.

Es ist jedoch der bei einer langsamen Verbrennung entstehende Rauch bei geöffneten Luftlöchern nicht stärker als der aus einer Wohnung entweichende und kann der Nachbarschaft nicht unbequem sein. Der bei einer lebhaften Verbrennung in demselben Ofen bei verschlossenen Luftlöchern entweichende Rauch ist dick, undurchsichtig, mit Ruß beladen, so daß er während ¼ der Zeit sehr unbequem ist. Es ist daher möglich, den Rauch, wenn auch nicht gänzlich zu entfernen, doch wesentlich zu vermindern, wenn man Luft aus der Atmosphäre hinter die Feuerbrücke gelangen läßt, sobald der Ofen nur mit einer gutziehenden Esse versehen ist.

Zahlreiche Versuche über die ausströmenden Gase haben folgende Resultate gegeben: Bei verschlossenen Luftlöchern führten die Gase nach dem Schüren einen schwarzen Rauch mit sich, welcher dem Volum nach enthielt: 0,10 bis 0,13 Kohlensäure und 0,08 bis 0,065 freien Sauerstoff; der übrige Theil besteht aus Stickstoff und aus brennbaren Gasen. Wenn der Rauch leicht ist und die Lufteinströmungsöffnungen verschlossen sind, so enthalten die Gase 0,07 bis 0,09 Kohlensäure und 0,10 freien Sauerstoff. Endlich, wenn der Rauch gar nicht mehr sichtbar ist, enthalten die Gase 0,06 Kohlensäure und 0,013 freien Sauerstoff.

Sind die Luftlöcher ganz offen, so enthalten die Gase nach dem Schüren 0,06 bis 0,08 Kohlensäure und 0,09 bis 0,10 freien Sauerstoff. In dem Maaße, wie die Verbrennung vorschreitet, vermindert sich die Kohlensäuremenge, und die des freien Sauerstoffes nimmt zu; am Ende des Zwischenraumes, der zwei auf einander folgende Schürungen trennt, und wenn sich aus der Esse kein sichtbarer Rauch entwickelt, enthalten die Gase 0,05 Kohlensäure und 0,14 freien Sauerstoff, während die brennbaren Gase 0,025 nicht übersteigen. Kurz, der Rauch bleibt dick, so lange in den Gasströmen mehr Kohlensäure als freier Sauerstoff dem Volum nach vorhanden ist; er beginnt klar zu werden, wenn die Volumina gleich sind und er wird 0, wenn das Sauerstoffvolum gleich dem doppelten von der Kohlensäure ist.

688. Man hat mit dem Anemometer die Luftvolumina gemessen, welche durch den Rost und durch die Einlaßöffnungen in den Ofen drangen. Es folgt aus diesen Versuchen, daß die durch den Aschenfall strömende Luft nach jedem Schüren sehr gering ist, daß diese Menge in dem Maaße zunimmt, wie sich die Steinkohle in Cokes verwandelt, und daß dieselbe am Ende des Zwischenraumes, welcher die beiden Schürungen trennt, größer ist als zu Anfang. Die Reinigung des Rostes, welche Veranlassung zu einer Wolke schwarzen Rauches giebt, hat ebenfalls eine Verminderung der durch den Rost strömenden Luft zur Folge. Die durch die Luftlöcher einströmende Luft bleibt beinahe constant; fast unmittelbar nach dem Schüren beträgt sie mehr als das Doppelte von der durch den Rost strömenden Luft; am Ende des Zwischenraumes, welcher zwei Schürungen trennt, beträgt sie nur die Hälfte. Die Einführung der Luft durch die Canäle scheint in den

Augenblicken, welche auf das Schüren folgen, eine Zunahme der Geschwindigkeit bei dem Luftstrome zu veranlassen, der durch den Rost dringt. Dies ist ohne Zweifel die Wirkung eines gesteigerten Zuges, veranlaßt durch die Temperaturerhöhung der Verbrennung der Producte der Kohlendestillation. Bei einer Verbrennung von 80 Kilogr. Steinkohlen in der Stunde war das durch die gänzlich geöffneten Luftcanäle einströmende Volum 14,33 Q.-M. in der Minute, und es mußte diese Luft in den Rauchstrom mit einer Geschwindigkeit von 8 M. in der Secunde einströmen. Das durch den Aschenfall und durch den Rost unmittelbar nach dem Schüren eindringende Luftvolum betrug 5,34 Q.-M. und erhob sich am Ende des zwei Schürungen trennenden Zwischenraumes auf 19 Q.-M. Unter der Annahme, daß die Veränderungen gleichförmig sind, findet man, daß das von einem Kilogramm verbrannter Steinkohlen angesaugte Luftvolum 19,87 Q.-M. betrug.

Die von 1 Kilogr. Steinkohlen verdampfte Wassermenge hat 4,87 bis 5,37 Kilogr. betragen. Das Einströmen der Luft durch die fortwährend erhaltenen Leitungen hat keinen Einfluß auf die Brennmaterialersparung gehabt, wahrscheinlich weil die Wärmezunahme, die durch die vollständige Verbrennung der Gase hervorgebracht war, durch die Temperaturverminderung, welche von einem Luftüberschuß herrührte, wenn das Brennmaterial fast gänzlich in Cokes verwandelt worden war, ausgeglichen wurde. Es würde alsdann vortheilhaft gewesen sein, nur in den ersten Augenblicken nach jedem Schüren Luft in den Ofen eintreten zu lassen.

Es sind diese Versuche bis jetzt ohne praktische Resultate geblieben. Uebrigens ist die Dampfmenge, welche in diesem Kessel mit 1 Kilogr. Steinkohle erzeugt worden ist, wie man weiter unten näher sehen wird, unter der mittlern Dampfproduction, so wie sie gewöhnlich vorkommt. Es ist zu bedauern, daß Herr Combes in seiner Arbeit nicht die Kohlenstoffmenge angiebt, welche die Gase eingemengt enthalten und wodurch der Rauch sichtbar und unbequem wird.

Doppelte Heerde.

689. In den Apparaten dieser Art läßt man die Flamme, welche von einem Steinkohlenroste ausgeht, auf oder durch einen andern Rost gehen, auf welchem Cokes verbrennen. Dadurch erlangen die aus einem ersten Heerde hervorgehenden brennbaren Gase bei ihrem Durchgange durch den zweiten eine zur Verbrennung hinreichende Temperatur, und es ist, damit die Verbrennung stattfindet, hinreichend, die äußere Luft in zweckmäßigen Mengen einströmen zu lassen.

Der von Watt construirte Apparat besteht aus zwei verschiedenen Heerden, von denen der eine mit Steinkohlen und der andere mit Cokes gefeuert wird. Diese Einrichtung ist sehr wirksam, wenn die Thüren verschlossen sind, sie ist es aber nur in geringem Maaße, wenn sie offen bleiben, da nur eine geringe Menge Gase durch die Cokes strömt; übrigens erfordert sie zwei Brennmaterialien.

Man könnte die Apparate so einrichten, daß beide mit Steinkohlen gefeuert werden könnten, wobei dieselbe Wirkung erreicht werden würde, als wenn man den einen mit Cokes feuerte. Es ist zu dem Ende hinreichend, die beiden Roste abwechselnd zu schüren und den Rauch des geschürten Ro=

stes auf den andern zu leiten, denn während der zweiten Hälfte der Steinkohlenverbrennung befindet sich das Brennmaterial fast in dem Zustande von Cokes. Der Apparat könnte die in Fig. 134 im Grundriß angedeutete Einrichtung erhalten; man würde den Rauch des geschürten Rostes nöthigen, auf einen andern überzugehen und zwar mittelst zweier gußeiserner Register, welche eine gehörige Dicke haben müßten und die man nach einander aufzöge und niederließe.

690. Man könnte auch die in Fig. 135 angewendete Einrichtung annehmen. Der Rost ist kreisrund und beweglich, so daß er sich nach einander in entgegengesetzter Richtung um einen halben Umgang dreht. Man würde stets von derselben Seite, die am Entferntesten von der Canalöffnung ist, den Theil des Rostes herbeiführen, den man mit Steinkohlen schürt. Es sind aber alle diese Apparate verwickelt, man verliert dabei einen Theil der Heizoberfläche und sie sind daher in den Gewerben nicht angenommen.

691. Die Apparate von Hall, Fairbairn und Buzonnière. — Bei diesen Apparaten strömen die von den Steinkohlen kommenden Gase auf oder durch einen Cokesrost unmittelbar vor ihrem Einströmen in die Esse. Es ist dies sicher ein Mittel zur Rauchverbrennung, vorausgesetzt, daß die Gase einen Ueberschuß an Luft enthalten, allein es würde diese Verbrennung zu viel kosten.

692. Der Apparat von Chanter. — Dieser in Fig. 136 im senkrechten Durchschnitt dargestellte Apparat besteht aus zwei Rosten, von denen der erste eine Neigung hat, um das Abfallen der Cokes auf den hintern Rost zu erleichtern, der horizontal und etwas niedriger liegt, so daß auch die Schlacken weggenommen werden können. Diese bei feststehenden Generatoren angewendete Einrichtung scheint eine ziemlich vollständige Rauchverbrennung zu veranlassen, wenn das Feuer gut dirigirt wird. Kommt dazu die in Nr. 681 angegebene Art des Schürens, so wird die Wirksamkeit um so sicherer sein.

Bei den Locomotiven angewendet, bestand dieser Apparat aus zwei Rosten von der angegebenen Lage. Eine Sieteröhre von eigenthümlicher Form ging in der Nähe vom Ende des ersten Rostes nieder und nöthigte die sich auf derselben entwickelnden Gase durch die Cokes zu strömen, die den zweiten Rost bedeckten. Nach dem Erfinder verbrannte man den Rauch vollständig, wenn man $\frac{1}{4}$ Steinkohle und $\frac{3}{4}$ Cokes anwendete; da aber diese Einrichtung, die bereits vor einer Reihe von Jahren angegeben worden ist, nicht weiter gebraucht wird, so ist anzunehmen, daß sie den vorausgesetzten Bedingungen nicht entsprach, oder daß sie andere Nachtheile hatte, welche ihre Nichteinführung veranlaßten.

Heerde mit ununterbrochener Speisung.

693. Da der Rauch hauptsächlich durch die allgemein angewendete unterbrochene Schürung veranlaßt wird, so hat man geglaubt ihn vermeiden zu können, wenn man ein ununterbrochenes Schüren des Brennmateriales auf den Rost bewirkte. Es sind zu dem Ende sehr viel verschiedene Apparate construirt worden, von denen jedoch nur die wichtigsten hier erwähnt werden sollen.

694. Der Apparat von Brunton. — Derselbe bestand aus einem kreisrunden horizontalen Rost, der um eine senkrechte Achse beweglich

war und eine Umdrehung in 3 bis 4 Minuten machte; ein über dem Ofen angebrachter Rumpf enthielt Steinkohlenklein, welches er durch eine hin und her gehende Bewegung, die der Platte am Ende des Rumpfes mitgetheilt wurde, auf den Rost fast auf der Hälfte des Halbmessers fallen ließ. Es wurde durch diesen Apparat freilich der Rauch sehr vollständig verbrannt, allein er erforderte eine zu große Aufsicht und zu häufige Reparaturen.

695. Der von Collier verbesserte Henley'sche Apparat. — Bei dieser Vorrichtung liegt der Rost fest und der Apparat ist an der Ofenfläche angebracht. Er besteht hauptsächlich aus einem Rumpf mit ununterbrochener Aufschüttung aus zwei horizontalen Quetschwalzen mit gerüffelter Oberfläche und aus zwei kreisförmigen an einander und in gleicher horizontaler Ebene liegenden Projectoren, die sich in entgegengesetzter Richtung drehen und gleiche Wirkung haben. Indem nun die Steinkohle durch den Rumpf niedergeht, wird sie von den Walzen mehr oder weniger zerquetscht und vorbereitet, fällt auf die Projectoren oder Vertheiler in einen Raum, der zwischen den beiden Wellen befindlich ist, und es werden die kleinen Kohlen auf diese Weise stets auf dem glühenden Roste vertheilt. Die Form der Vertheiler ist die eines Rades, welches aus einer konischen geraden Schale und aus sechs trapezförmigen senkrechten Schaufeln besteht, die an der Schale angebracht sind. Ihre Geschwindigkeit beträgt etwa 200 Umdrehungen in der Minute, und man begreift, daß eine geringe Ventilationsöffnung mit ihrem Haupteffect vereinigt werden muß. Die Brennmaterialabgabe ist mit einer Stellschraube leicht zu reguliren; der ganze Apparat besteht aus Eisen und ist auf einer großen und starken Platte von demselben Metall angebracht, welche senkrecht steht und auf der Seite des Ofens mit den gehörigen Oeffnungen versehen ist. Da diese Platte auf Rollen steht, so kann der Apparat abwechselnd zwei Kessel bedienen.

Nach Cordier hat der damals sechs Monate im Betriebe stehende Apparat nachstehende Vortheile gewährt:

1) Die Feuerung ist vollkommen regelmäßig; 2) alle oder fast alle Theile des Brennmaterials werden unter den Sieteröhren oder unter dem Kessel verbrannt; 3) der sich aus der Esse entwickelnde Rauch ist nicht stärker als der aus vielen Wohnungsessen, in denen mit Holzkohlen gefeuert wird, hervorkommende. Er hat übrigens eine hellere Farbe und keinen von den Nachtheilen, welche die Nachbarschaft großer Essen von Steinkohlenöfen so unangenehm machen. 4) Man verbraucht fast ein Zehntel Brennmaterial weniger als bei gewöhnlichen Feuerungen; 5) man kann ohne alle Schwierigkeiten Staubkohlen benutzen; 6) das Stören oder Reinigen des Rostes wird leicht und ohne den Ofen zu öffnen bewirkt. Man begnügt sich damit, mittelst eines Hakens unter den Rost zu fahren und die glühende Brennmaterialschicht zu durchstechen, so daß dieselbe niemals mehr als 3 Centimeter Dicke beibehält. 7) Da der Heizer nur eine leichte Beaufsichtigung hat, so kann er sich mehr um die Maschine bekümmern; er bedarf übrigens nur eine geringere Geschicklichkeit als die gewöhnlichen Heizer. Endlich kann auch dieser Apparat bei allen Arten von Apparaten angebracht werden; man kann ihn auch ohne allen Nachtheil wieder wegnehmen und bei einem andern Kessel verwenden. Die zum Betriebe der Maschine nothwendige Kraft wird zu $\frac{1}{2}$ Pferdekraft, d. h. zu $\frac{1}{12}$ der ganzen Leistung des Kessels angenommen.

Ungeachtet aller dieser vorgebrachten Vortheile hat dieser Apparat dennoch keine Anwendung in den Gewerben finden können.

696. **Heerd mit festem Roste und mit directem Vertheiler.** — Derselbe hatte nachstehende Einrichtung: die Tiefe des Rostes entsprach dem Zwischenraume zwischen dem vordern Ende des Kessels und der Mauer, durch welche die Sieder gingen; an dem obern Theile befanden sich drei Rumpfe, die dem Zwischenraume zwischen den Siedern und den sie von den Seitenmauern einschließenden Räumen entsprachen, und ein jeder Rumpf enthielt eine Quetschwalze, welche das Kohlenklein auf den Rost fallen ließ. Die Quetschwalzen machten im Durchschnitt 45 Umgänge in der Minute und vertheilten 15 Kilogrm. Steinkohle die Stunde auf dem Heerde. Dieser Vertheiler, der keinen in dem Feuer wirkenden Mechanismus und eine sehr einfache Cönstruction hatte, verbrannte den Rauch und schien manchen Vortheil gegen andere Apparate zu haben; dennoch hat er sich nicht weiter verbreitet.

697. **Die Apparate von Player.** — Man hat diese Apparate hauptsächlich zur Verbrennung des Anthracits, der wenig Rückstände hinterläßt, jedoch auf dem Roste zerspringt, wie der aus Wales und aus Amerika, angewendet. Fig. 137 giebt einen Querdurchschnitt von dieser Einrichtung; er besteht aus einem Roste von schmalen Roststäben, über dem sich ein Rumpf, der beständig mit Anthracit gefüllt ist, befindet. Der trichterförmige Rumpf läuft unten in eine Röhre aus, die über dem Rost endigt, so daß das Brennmaterial in dem Maaße niedergeht, als es verbrannt wird. Eine Thür braucht weder geöffnet noch verschlossen zu werden, so daß kein kalter Luftstrom auf das Brennmaterial kommt, und da der Anthracit nach und nach erhitzt wird, so zerspringt er auf dem Heerde nicht und verlöscht nicht den schon in Gluth befindlichen. Die Schürung ist regelmäßig und der Heizer hat daher nichts Anderes zu thun, als von Zeit zu Zeit den Rumpf über der Röhre zu füllen und die Verbrennung durch das Essenregister zu reguliren. Die Fig. 137 zeigt diese Einrichtung bei einem Niederdruckkessel.

Eine Dampfmaschine hat 72 Stunden hinter einander mit einem solchen Anthracitheerde gearbeitet, ohne daß eine Reinigung des Rostes erforderlich gewesen wäre. Der angewendete Anthracit war klein, jedoch nicht pulverförmig, und es wurde der Trichter alle vier Stunden gefüllt. In dem Aschenfall befand sich Wasser, um etwas Flamme zu erhalten.

Fig. 138 stellt den Querdurchschnitt einer Schiffsdampfmaschine von 24 Pferdekräften dar. Der Rost hatte eine Oberfläche gleich der von $^5/_4$ derjenigen, die gewöhnlich zur Verbrennung desselben Gewichtes von Steinkohlen angewendet wird, und die Schürröhre hatte einen Durchschnitt von $^1/_4$ derjenigen des Rostes.

Da Heerde dieser Art nur bei sehr reinem und in regelmäßigen Stücken vorkommendem Anthracit betrieben werden können, so haben sie nur eine geringe Verbreitung.

Heerde, bei denen Dampf oder Luft unter den Rost strömt.

698. **Das Einströmen von Dampf.** — Die Einführung von Dampf in die Heerde ist auf zweierlei Weise bewirkt worden; man hat ihn entweder frei unter den Rost, oder zuvörderst in hohle Roststäbe gelangen

lassen, aus denen er durch kleine, seitwärts angebrachte Oeffnungen ausströmte. Die Patentinhaber für diese Art der Feuerung haben behauptet, daß dadurch eine Brennmaterialersparung von 21 bis 30 Procent veranlaßt werden könnte; dies scheint jedoch übertrieben, denn wenn auch durch die Einführung von Dämpfen Brennmaterialien, die gewöhnlich ohne Flamme verbrennen, in einem geringen Grade flammend gemacht werden können, so wird dadurch doch die Wärme nicht erhöht, wie anderweitig angestellte Versuche hinreichend bewiesen haben.

699. Das Eintreiben von Luft unter den Rost. — Man hat auch verdichtete Luft in den übrigens verschlossenen Aschenfall vertrieben und behauptet, daß man dadurch eine Brennmaterialersparung erlangt habe; es sind jedoch die Versuche dieser Art nicht gelungen. Mit Nutzen könnte jedoch diese Einrichtung für schlecht eingerichtete Oefen, die wegen zu großer Ausdehnung der Heizoberflächen, oder wegen zu geringen Durchschnitts der Canäle und der Essen einen zu geringen Zug haben, angewendet werden; bei gut eingerichteten Oefen ist sie jedoch ohne allen Einfluß, wie die Erfahrung gezeigt hat. Dennoch ist diese Einrichtung bei einigen im Hüttenwesen angewendeten Oefen zur Verbrennung von schlechteren Brennmaterialsorten benutzt worden.

700. Das Eintreiben von Dampf und Luft. — Man hat es endlich auch versucht, in den luftdichten, verschlossenen Aschenfall einen Dampfstrom durch eine Röhre einzutreiben, die im Mittelpunkt einer weitern concentrischen Röhre befindlich ist, welche sich nach innen und nach außen öffnet. Der Dampfstrom saugt Luft an und veranlaßt einen Druck im Aschenfall. Diese Einrichtung ist zweckmäßig, wenn die Essen nur einen geringen Zug haben, oder wenn der Rauch vollständig abgekühlt ist und man den Zug durch eine Maschine ersetzen kann. Unter gewissen Verhältnissen würde er bequemer als ein Ventilator sein, jedoch würde dadurch der Nutzeffect eher vermindert als erhöht werden.

Mit warmer Luft gespeiste Heerde.

701. Der Betrieb der Hohöfen mit warmer statt mit kalter Luft hat überall eine sehr bedeutende Brennmaterialersparung und eine Productionssteigerung veranlaßt. Man hat zuvörderst diese Wirkung durch die Temperaturerhebung, welche aus der Anwendung der warmen Luft entstehe, zu erklären gesucht. Berthier hat aber einen andern allgemeinen Grund angenommen, der in der sehr wahrscheinlichen Hypothese besteht, daß die Verwandtschaft der warmen Luft zur Kohle weit größer ist als die der kalten Luft, und daß, wenn man warme Luft anwendet, dieses Gas gänzlich vom Sauerstoff auf einem sehr kurzen Wege befreit wird. In Folge dieser Hypothese ist die Verbrennung fast gänzlich auf das Gestell concentrirt, und die Temperatur ist daselbst weit höher, als bei kalter Luft und daher in den höheren Theilen des Hohofenschachtes geringer. Beide Umstände sind der Brennmaterialersparung günstig, denn die hohe Temperatur, die bei Anwendung der kalten Luft über dem Gestell durch die fortdauernde Verbrennung erzeugt wird, scheint ohne allen Nutzen zu sein. Diese Erklärung stützt sich auf die genügend bestätigte Thatsache, daß die Temperatur der warmen Luft um so niedriger sein muß, je weniger Verwandtschaft das Brennmaterial zum Sauerstoff hat. Es sind daher 150 bis 250° hin-

reichend für die Holzkohlenhohöfen, während für die Cokeshohöfen 300° erforderlich sind, und für die mit Anthracit betriebenen Hohöfen wahrscheinlich eine noch weit höhere Temperatur erforderlich sein wird.

702. Den Einfluß der warmen Luft in den gewöhnlichen Heerden, wenigstens wenn sie unter dem Rost eingeführt worden ist, kennt man nicht, da keine entscheidenden Versuche über diesen Gegenstand angestellt worden sind. Dagegen wird die Einführung von warmer Luft jenseits des Rostes und in einer Richtung, die nicht die des Rauches ist, sicher den Vortheil haben, die brennbaren Gase durch ihre directe Einwirkung und durch ihre Vermengung mit dem sich aus dem Heerde entwickelnden Gase durch die Bewegung und Vermengung beider einen sehr günstigen Einfluß haben.

Heerde mit Theerverbrennung.

703. Die Leuchtgasfabriken haben zu einer Zeit, wo der Steinkohlentheer nur einen sehr geringen Handelswerth hatte, denselben zur Feuerung der Retorten zu verwerthen gesucht. Man versuchte es zuvörderst, ihn auf die Cokes zu gießen, die auf dem Rost lagen, allein es wurde ein großer Theil des Theers verflüchtigt, ohne verbrannt zu werden, und da die Temperatur im Heerde sehr hoch war, so wurde der über dem Rost liegende Theil der Retorte sehr rasch zerstört. Man hat alsdann die folgenden beiden Einrichtungen angewendet, die beide gute Resultate gegeben haben. In einigen Fabriken hat man die Aschenfallöffnung vermauert, den Rost weggenommen, und den Aschenfall mit Cokes gefüllt, so daß sie sich fast bis zu der Stelle, die der Rost einnahm, erhoben, worauf man Theer in sehr feinen Strahlen auf die Cokes goß. Die zur Verbrennung erforderliche Luft dringt durch eine Oeffnung von 1 Quadratdecimeter ein, und durch diese Oeffnung gelangt auch die Theerröhre in den Heerd. Der Luftstrom gelangt mit geringen Veränderungen des Querschnitts und der Geschwindigkeit und in einer senkrecht auf der Ebene der Oeffnung stehenden Richtung in den Heerd. Durch diese Einrichtung erzeugen 100 Kilogrm. Theer die Wirkung von 3 gehäuften Hektoliter Cokes, die 120 Kilogrm. wiegen.

704. In anderen Fabriken hat man den Heerd in einem kleinen gußeisernen Gefäß von 10 bis 15 Centimeter Durchmesser verbrannt (Fig. 139); der Luftstrom und die Theerröhre gelangen durch eine Oeffnung auf den Heerd. Durch zweckmäßige Regulirung der Einströmungsöffnung und ihrer Stellung erreicht man eine ziemlich vollständige Verbrennung des Theers, und der hervorgebrachte Nutzeffect war fast derselbe wie bei dem vorhergehenden Apparat. Es ist wahrscheinlich, daß man bei diesen beiden Einrichtungen nur den Rauch unter der Bedingung verbrennen konnte, zu dem Theer einen Ueberschuß von Luf gelangen zu lassen, und daß man einen weit bedeutendern Nutzeffect erreicht haben würde, wenn man diesen Ueberschuß vermindert hätte.

705. Man hatte vorgeschlagen, den Theer in ähnlichen Apparaten zu verbrennen, wie die Gaslampen, indem man den Theer mittelst eines Behälters mit gleichem Niveau in gleicher Höhe erhielt; allein die dazu nothwendigen sehr engen Röhren würden wahrscheinlich verstopft worden sein, und es ist daher zu bezweifeln, daß die Sache ohne einen verdichteten Luftstrom gelungen wäre.

706. Nach der Meinung des Verfassers würde das beste Mittel zur Verbrennung des Theers darin bestehen, denselben in eine gußeisernt Schale gelangen zu lassen, durch die eine weite, senkrechte Röhre von demselben Metall geht, die an ihrem obern Theil verschlossen ist, unten mit einem Gebläse in Verbindung steht, und seitwärts mit einer großen Menge kleiner Oeffnungen mit horizontaler Richtung versehen ist. Die nur durch die Röhre eindringende Luft würde warm und nur in horizontalen Strahlen ausströmen, die, indem sie durch den Rauch dringen, ihn leicht und bei weit geringerem Luftverbrauch verbrennen würden, als dies bei den gewöhnlichen Prozessen der Fall ist. Der in dem Heerd angebrachte Apparat würde sich nur wenig verändern, da das Metall fortwährend von einem Luftstrom abgekühlt wird; außerdem würde der Apparat so wohlfeil sein, daß eine häufige Auswechselung desselben keine Nachtheile haben könnte. Vielleicht könnte man auch das Gebläse durch eine stark ziehende Esse ersetzen, wodurch die Luftstrahlen eine zur Verbrennung hinreichende Geschwindigkeit erlangen würden. Endlich könnte man auch die Oeffnung zur Einführung der äußern Luft reguliren.

Gasöfen.

707. In sehr vielen Fällen gelangen bei den chemischen, hauptsächlich aber bei den Hüttenprozessen, die mit Wärmeerzeugung ausgeführt werden, brennbare Gase in die verbrannte Luft, die früher ganz verloren gingen, die man jetzt aber benutzt. Wir wollen hauptsächlich bei den aus den Hohöfen entweichenden Gasen stehen bleiben, weil sie fast gänzlich aus Stickstoff und aus Kohlenoxyd bestehen, und da dieses letztere Gas, weil es darin in großer Menge vorhanden ist, durch seine vollständige Verbrennung eine große Wärmemenge und eine sehr hohe Temperatur hervorbringen kann. Es soll daher hier eine große Reihe von Versuchen mitgetheilt werden, welche zur verschiedenartigen Benutzung der in den Hohofengasen enthaltenen Wärme angewendet worden sind.

708. Die erste Benutzung der Hohofenflamme scheint im Jahre 1812 von Herrn Aubertot zum Kalk- und Ziegelbrennen gemacht worden zu sein. Der Bericht von Berthier über die hierbei angewendeten Vorrichtungen enthält die Angaben über einen Theil der Benutzungen der Ueberhitze der Hohöfen und der beim Eisenhüttenwesen angewendeten Flammöfen. Berthier sah aber die jetzt durch die Verbrennung der aus der Hohofengicht sich entwickelnden Gase und die hervorgebrachte Wärmemenge und Temperaturen, wie sie jetzt erlangt sind, nicht voraus, weil zu jener Zeit die Heizkraft des Kohlenoxyds weit unter seinem wirklichen Werthe geschätzt worden war.

709. In Folge der um's Jahr 1830 von den Schotten Neilson und Taylor gemachten Erfindung in Beziehung der Anwendung erhitzter Gebläseluft bei dem Hohofenbetriebe wurden über den Gichten verschiedenartig geformte Oefen angebracht, um die Gebläseluft mittelst der aus der Gicht ausströmenden Hitze zu erwärmen.

In den Jahren 1834 und 1835 bewirkte der Ingenieur Houzeau-Muiron die Holzverkohlung in Kästen mit Hülfe der Gichtflammen.

Zu derselben Zeit versuchten Thomas und Laurens die Dampfkesselfeuerung zum Gebläsebetriebe durch dieselben Hohofengase. Die Heerde

waren in geringer Entfernung von dem Gichtrande angebracht, und die Gase wurden durch Luftströme unter den Kesseln verbrannt, deren Stärke durch Register regulirt wurde.

Im Jahre 1838 machte der Hüttendirector Robin zu Niederbronn im Elsaß den Vorschlag, die aus den Hohöfen entweichenden Gase zur Dampfkesselfeuerung in mehr oder weniger großen Entfernungen zu den Gichtöffnungen zu benutzen. Da er aber die Gase unmittelbar unter einer Platte auffing, welche die Gicht geschlossen erhielt, so wurde das Ausströmen jedesmal dann unterbrochen, wenn man neue Gichten aufgab. Es mußten daher die Gase nach jedem Gichtwechsel wieder angezündet werden, was neben einer sehr regelmäßigen Feuerung große Nachtheile hatte. Später hat man die Gichtgase unter der Gicht auf verschiedene Weise abzuleiten gesucht und dadurch sehr gute Resultate erlangt, so daß jetzt die Gichtgase nicht allein zur Dampfkesselfeuerung, sondern auch zur Lufterhitzung, zur Eisensteinröstung und zu vielen anderen Zwecken sehr vortheilhaft benutzt werden.

710. Das Auffangen der Gase nach Thomas und Laurens. — Die unerläßliche Bedingung bei Benutzung der Gichtgase besteht darin, dieselben ununterbrochen und in der Weise aufzufangen, daß der Ofenbetrieb dadurch nicht benachtheiligt wird. Die genannten Ingenieure sind durch lange Versuche, die sie seit dem Jahre 1841 mit verschiedenen Hohöfen angestellt haben, zu folgendem System der Benutzung gelangt. Der obere Theil des Hohofenschachtes wird erweitert, so daß er einen Gasbehälter bilden kann, und ein abgestumpfter Kegel oder ein Rumpf von Gußeisen oder Eisenblech, der an beiden Enden offen ist, wird in den Raum eingesenkt. Aus einem oder aus mehreren Punkten des kranzförmigen Raumes, der mit dem Rumpf concentrisch ist, laufen Röhren aus, welche die Gase nach den verschiedenen Verbrauchspunkten leiten. Das Aufgeben der Gichten erfolgt durch den abgestumpften Kegel, der sich nach unten zu erweitert, und die Räumlichkeit dieses Rumpfes ist von der Art, daß er in dem Augenblick, in welchem die neue Gicht aufgegeben wird, eine gewisse Materialmenge enthalten kann. In gewissen Fällen, und hauptsächlich bei Hohöfen mit weiten Gichten ist der Rumpf mit einem Wasserverschluß versehen, den man mit der größten Leichtigkeit abnehmen und wieder hinstellen kann, wenn aufgegeben werden muß; die Ränder des beweglichen Deckels treten in eine mit Wasser angefüllte Rinne, welche das obere Ende des Rumpfes umgiebt. Diese Vorrichtung zum Gasauffangen mit Wasserverschluß, welche von den Herren Thomas und Laurens herrührt, ist in Frankreich hauptsächlich bei den Cokeshohöfen angewendet worden. Die Regeln, nach welchen diese Ingenieure die Höhe angegeben haben, in welcher das Gas abgeleitet werden könne, beruhen auf dem Grundsatz, daß es da geschehen müsse, wo die Gase keinen nützlichen Einfluß auf die Vorbereitung der Erze mehr haben können, wogegen Faber du Faur die Behauptung aufgestellt hatte, daß die Ableitung der Gase nur in der Gicht selbst bewirkt werden müsse. Es giebt daher eine Menge von Fällen, bei denen die Hohöfen eine gewisse Erhöhung erfahren müssen, damit man einen Rumpf zur Auffangung der Gase anbringen kann. Dies stimmt auch mit den Erfahrungen des Engländers Parry überein.

711. Die Reinigung der Gase. — Der von den Herren Thomas und Laurens zur Reinigung der Gase angewendete Apparat be-

ruht auf denselben Grundsätzen, nach denen auch diejenigen Apparate eingerichtet worden sind, wodurch die Dämpfe von dem mitgeführten Wasser getrennt werden, und die wir weiter unten kennen lernen. Er besteht aus einer Art von umgekehrter Glocke, die an ihrem obern Theile die Gasleitungsröhre enthält, die aber unten offen und in einem mit Wasser angefüllten Gefäße steht. Das gereinigte Gas strömt durch eine andere, an dem obern Theil der Glocke angebrachte Röhre nach den Oefen, in denen es benutzt werden soll. Die von oben nach unten in geringer Entfernung von der Wasserfläche anlagernden Gase lassen die eingemengt enthaltenen Stoffe, da sie sich im Zustande der Ruhe befinden, in das Wasser fallen, in welchem sie bleiben, während die gereinigten Gase sich mit der Ausströmungsröhre erheben. Diese Reinigung, welche den Vortheil hat, die Verstopfung der in vielen Hütten oft so langen Leitungen zu verhindern, ist um so wichtiger, als die von der Verbrennung der Gase bewirkten Prozesse durch den mitgeführten Staub leicht benachtheiligt werden. Der Apparat hat gewöhnlich eine solche Einrichtung, daß das Wasser aus demselben leicht abgelassen und die auf dem Boden desselben befindlichen Unreinigkeiten leicht weggenommen werden können.

712. Gasöfen. — Die Oefen dieser Art zerfallen in zwei Klassen: 1) in solche, in denen die Temperatur nur hinreichend zu sein braucht, um Dampfkessel und Lufterwärmungsapparate zu feuern, und 2) in Oefen mit hoher Temperatur.

Die Oefen der erstern Art haben nach Angabe von Thomas und Laurens eine solche Einrichtung, daß die durch den innern Druck des Hohofens ausgeströmten Gase in einen Kasten gelangen, der in dem Gewölbe angebracht ist, welches sich über dem Raume befindet, der bei den gewöhnlichen Oefen von dem Roste eingenommen ist. Die Gase entweichen aus diesem Kasten von oben nach unten in dünnen Strahlen und mit einer mehr oder weniger geneigten Richtung. Die äußere Luft tritt ebenfalls in dünnen Schichten und in derselben Richtung ein, und man erhält auf diese Weise einen Ofen mit fast umgekehrter Flamme. Die Oefen der letztern Art geben aber, wie wir schon weiter oben sahen, die besten Resultate, sobald die Beschaffenheit des Brennmaterials ihre Anwendung gestattet.

Die Oefen der zweiten Art, die den Zweck haben, hohe Temperaturen hervorzubringen, sind mit Gebläsen versehen. Die Fig. 140 zeigt die in Deutschland, namentlich die zu Wasseralfingen von dem verewigten Bergrath Faber du Faur angewendete Einrichtung. Die Gase waren in einer Entfernung von der Gicht abgeleitet, die ein Drittel von der Höhe des ganzen Hohofens betrug, um sie reicher an Kohlenoxyd und mit geringerem Wassergehalt zu halten. Sie gelangten aus dem senkrechten Canal B in den horizontalen, gemauerten Canal C, während die Gebläseluft durch einen gußeisernen Canal D herbeigeführt, und durch viele kleine Oeffnungen o,o,o, auf den Ofenheerd getrieben wurde. Durch diese Einrichtung entging viel Gas der Verbrennung und viel Luft der Einwirkung des Gases. Außerdem wurden die Gase auf $^2/_3$ der Höhe des Hohofens abgeleitet, wodurch der Betrieb gestört wurde, weil die Gase noch nicht hinreichend gewirkt hatten. Daher verlor man am Hohofenbetriebe eben so viel, als man an Verbrennung der Gase gewonnen hatte. Deshalb ist diese Benutzung der Hohofengase ganz aufgegeben worden.

713. Thomas und Laurens haben ihre Gasöfen in der Art eingerichtet, daß sie eine vollständige Verbrennung hervorbringen und die Länge und Zusammensetzung der Flamme verändern können.

Die Construction dieser Oefen zur Hervorbringung hoher Temperaturen beruht auf dreierlei Grundsätzen. Der erste besteht darin, das Gas und die Luft in dünnen, parallel und mit einander vermengten Strahlen ausströmen zu lassen; der zweite Grundsatz darin, der Luft und dem Gase verschiedene Geschwindigkeit zu geben; der letzte aber darin, Gas und Luft nicht eher mit einander in Berührung zu bringen, als bis eines von beiden, oder, besser noch, beide vorher stark erhitzt worden sind. Die Wirkung des erstern Grundsatzes liegt klar vor; die des zweiten erklärt sich leicht, wenn man berücksichtigt, daß wenn die beiden Gase gleiche Geschwindigkeit hätten, die benachbarten Strahlen bald durch eine Schicht von Stickstoff und Kohlensäure getrennt wären, die sie begleiten und die Verbrennung verzögern würden. Der Einfluß des dritten Grundsatzes beruht darauf, daß die von der Verbrennung der Gase herrührende Temperatur in dem Maaße zunimmt, als sie durch Luft oder Körper von einer höhern Temperatur hervorgebracht worden ist.

714. Ein nach diesen Grundsätzen construirter Apparat (Fig. 141) besteht aus zwei länglich viereckigen Räumen B und C, die über einander liegen und eine gemeinschaftliche Wand haben; sie haben eine schiefe Richtung am Ende des Raumes, den bei den gewöhnlichen Flammöfen der Rost einnimmt.

Die Luft wird durch ein Gebläse geliefert und durchströmt gußeiserne Röhren, die durch die verlorene Wärme des Ofens erhitzt werden; es geht diese Luft durch eine Röhre ADD in den Raum B, aus welchem er durch eine große Anzahl kleiner Röhren o′,o′,o′,o′ ausströmt. Nachdem die Hohofengase ebenfalls erhitzt worden sind, gelangen sie durch die Röhre FFE in den Raum C, der zur Seite von dem erstern liegt; der Deckel dieser Abtheilung ist mit einer großen Anzahl kleiner Röhren o,o,o,o, versehen, die mit den Luftröhren concentrisch sind. Der Druck der Gebläseluft beträgt 15 bis 20 Centimeter Wasser, derjenige der brennbaren Gase 3 bis 6 Centimeter; die Temperatur der Luft beträgt 300 bis 400°, die der Gase 200 bis 300°. Durch diese Einrichtung erlangt man eine sehr gute Verbrennung; man regulirt mit großer Leichtigkeit die relativen Volumina von Luft und Gas, welche in die Düsen kommen, und macht die Flammen nach Belieben oxydirend oder reducirend, lang oder kurz.

715. Aus den vom Professor Bunsen zu Heidelberg angestellten Analysen der Hohofengase geht hervor, daß sich die Menge der Kohlensäure vermindert und die des Kohlenoxydes in dem Maaße zunimmt, als das Gas aus zunehmenden Tiefen genommen worden ist. Bunsen bemerkt, daß das auf einer Entfernung von fast $^1/_3$ der Hohofenhöhe von der Gicht ab aufgefangene Gas, welches alsdann 0,33 Kohlenoxyd enthält, zu seiner Verbrennung ein Sauerstoffvolum erfordert, welches gleich dem ist, welches es enthält; er folgert daraus nach der Welter'schen Theorie, daß die in dem Hohofen benutzte Wärmemenge nur die Hälfte von der ist, welche die angewendete Holzkohle entwickeln kann, und daß diese Gase zu ihrer Verbrennung die zum Schmelzen des Roheisens erforderliche Temperatur hervorbringen könnten. Diese Berechnungen lassen aber diesen Prozeß als unmöglich durch die Verbrennung der an der Gicht aufgefangenen Gase

erscheinen, da diese nur 0,20 bis 0,25 Kohlenoxyd enthalten. Es existirt aber, wie wir sehen werden, diese Unmöglichkeit nicht. Uebrigens ist auch das Welter'sche Gesetz ungenau.

716. Nach den neueren Analysen von Ebelmen enthalten die in den Hohöfen von den Formen zur Gicht emporsteigenden Gase abnehmende Kohlenoxydmengen. In dem mit Cokes betriebenen Hohofen zu Vienne, der eine Höhe von 11 Meter hat, haben die Kohlenoxydmengen in den Gasen, die 0,62 Meter, 4,36 Meter über den Formen, ferner die 1 Meter unter der Gicht und in der Gicht abgeleitet worden sind, ein Volum von 0,37, 0,33, 0,32, und 0,25; in der Gicht bildete der Wasserdampf 0,06 von dem eingemengten Gase Andere Analysen mit den Gasen des Hohofens zu Pont-L'Évêque haben sehr wenig abweichende Resultate gegeben. In den Holzkohlenhohöfen beträgt die Temperatur in der Gicht zwischen 100 und 200°; in den Cokeshohöfen schwankt die Temperatur zwischen 360 bis 430°; in allen nimmt sieschnell von der Gicht nach den Formen zu.

Aus den zahlreichen Analysen, die Ebelmen mit den Gasen der Hohöfen zu Clerval und Audincourt angestellt hat, geht hervor, daß die aus der Gicht dieser Hohöfen entweichenden Gase folgende Zusammensetzung haben:

	dem Volum nach		dem Gewicht nach
Kohlensäure	12,0	12,0 • 1,529	= 18,35
Kohlenoxyd	23,0	23,0 • 0,967	= 22,24
Wasserstoff	6,0	6,0 • 0,069	= 0,41
Stickstoff	59,0	59,0 • 0,9713	= 57,30

Die Anzahl der aus der Verbrennung dieser Gase hervorgehenden Wärmeeinheiten ist

$$22{,}24 \cdot 2{,}403 + 29{,}674 = 65{,}409.$$

Was nun die zu ihrer Erlangung producirte Temperatur betrifft, so muß man offenbar alle Gase, zwischen denen sich die Wärme vertheilt, in Wasseräquivalente verwandeln. (213), und die Anzahl der erzeugten Wärmeeinheiten durch die Summe dieser Aequivalente dividiren.

Kohlensäure des Gases vor der Verbrennung .	18,35 • 0,216 =	3,96
Stickstoff	57,30 • 0,244 =	13,98
Kohlensäure durch die Verbrennung gebildet . .	34,94 • 0,216 =	7,54
Wasserdampf	3,60 • 0,475 =	1,71
Stickstoff durch die Luft eingeführt	42,56 • 0,244 =	10,48
		37,67

$$\text{Temperatur} = \frac{65409}{37{,}67} = 1736^0.$$

Wenn man für den Wärmeeffect des Wassers 34462 angenommen hätte, so würde die Temperatur 1791° betragen haben. Sie würde noch höher sein, wenn die Gase aus einer größern Tiefe aufgefangen wären, weil sie alsdann einen größern Reichthum an Kohlenoxyd haben würden.

Bei Cokeshohöfen würden die Resultate im Wesentlichen dieselben sein.

717. Nach den Analysen von Ebelmen enthalten die Gichtgase eines Cupolofens von 3 M. Höhe, der mit Cokes betrieben wird, 0,09 bis 0,14 Kohlenoxyd, 0,09 bis 0,19 Kohlenwasserstoff, 0,0038 bis 0,0115 Wasserstoff und 0,71 bis 0,75 Stickstoff. Nimmt man den Durchschnitt von diesen Zahlen, und vergleicht die Wärme, welche diese Gase durch ihre Verbrennung entwickeln können, mit dem Wärmeeffect des verbrauchten Brennmaterials, so findet man, daß die in einem Cupolofen verlorene Wärme fast $^2/_3$ von der gesammten Wärme beträgt.

Gas-Flammöfen mit Gasgeneratoren.

718. Die Gasflammöfen haben große Vortheile gegen die gewöhnlichen Flammöfen; die Verbrennung kann in denselben vollständig bewirkt werden, indem man nur die durchaus nothwendige Luftmenge verwendet; man kann die Hitze des Ofens nach Belieben verändern, in den Producten der Verbrennung unveränderte Luft oder Gase lassen, und endlich eine regelmäßige und continuirliche Wirkung erhalten. Es sind diese Resultate leicht zu erlangen, wenn man die Hähne, durch welche Luft oder Gase ausströmen, mehr oder weniger öffnet.

Diese durch alle mit Hohofengasen ausgeführten Versuche bestätigten Vortheile haben offenbar darauf geführt, feste Brennmaterialien in gasförmige zu verwandeln, und sie alsdann in Flammöfen zu verbrennen, die mit den vorhergehend beschriebenen im Allgemeinen gleiche Einrichtung haben. Die Apparate, in denen Gase aus festen Brennmaterialien erzeugt werden, nennt man Gasgeneratoren.

719. Die Einrichtungen von Thomas und Laurens, die in Frankreich hauptsächlich gebräuchlich sind, bestehen in Folgendem: die Brennmaterialien werden in einen Ofen eingebracht, der die Form eines senkrechten Cylinders oder eines Prisma's hat, die am obern Theil verschlossen und mit einem Rumpf versehen sind, der den Zweck hat, das Aufgeben zu bewirken, ohne das Ausströmen des Gases zu unterbrechen; im Allgemeinen ist die Form eines kleinen Hohofens die zweckmäßigste. Die Gebläseluft wird durch eine oder mehrere Formen am untern Theile des Ofens eingeführt, jedoch über einer Art von Tiegel am untern Theile, der an seiner vordern Seite eine Thür hat, durch welche die Schlacken, wenn sie flüssig sind, abfließen, oder durch welche man sie herauszieht. Nach der Beschaffenheit des Brennmaterials und nach den fremdartigen Körpern, die es enthält, regulirt man die Beschaffenheit und die Menge der Zuschläge, die mit dem Brennmaterial in dem Ofen aufgegeben werden. Man könnte auch die Luft durch die Formen mit Hülfe stark überhitzter Dämpfe einführen; indem man alsdann das Gewicht der Luft und des Dampfes in dem Verhältniß von 35 zu 1 einbläst, ist die durch die Bildung des Kohlenoxydes entwickelte Wärme hinreichend, um das Wasser zu zersetzen und den gebildeten Gasen eine Temperatur von etwa 500° zu ertheilen.

Der Gasgenerator muß hinreichende Höhe haben, so daß aller Sauerstoff der Luft in Kohlenoxyd verwandelt wird. Diese Höhe beträgt 1 bis 3 Meter; die geringste ist für Holzkohle und die größte für Cokes zweckmäßig. Für Brennmaterialien, die eine höhere Dichtigkeit haben und gegen die Zersetzung einen größern Widerstand leisten, als gewöhnliche Cokes,

würde eine noch bedeutendere Höhe des Generators zweckmäßig sein. Die hier beschriebene Einrichtung ist auf Holz, Holzkohlen, Kohlenlösche, auf Torf, Cokes, Anthracit, auf trockene und selbst auf halbfette Steinkohlen, die sich nicht so sehr aufblähen, anwendbar. Die fetten oder backenden Steinkohlen müssen mit einem gewissen Verhältniß von Cokes oder von mageren Kohlen vermengt werden. Sogenannte Gascokes, die Rückstände in den Retorten bei der Steinkohlendestillation, würden sehr gut in den Gasgeneratoren benutzt werden können.

720. Die Gasgeneratoren in der Hütte zu Audincourt, aus denen die Schweißöfen gefeuert werden, betreibt man nur mit Kohlenlösche, d. h. mit den zweckmäßig gereinigten Rückständen der Holzkohlenmagazine. Ebelmen hat viele Analysen mit den in diesen Generatoren erzeugten Gasen angestellt. Sie hatten dem Volum nach nachstehende Bestandtheile: Kohlensäure 0,50; Kohlenoxyd 33,30; Wasserstoff 2,80; Stickstoff 63,40. Das Gewicht des Kohlenoxydes und des Wasserstoffs beträgt 32,201 und 0,193; folglich ist die durch die Verbrennung des ganzen Gasgewichts entwickelte Wärmemenge gleich $32{,}2 \cdot 2403 + 0{,}193 \cdot 29674 = 83{,}103$. Die Summe der Wasseräquivalente der Kohlensäure, des Stickstoffs und des Wasserdampfes, wie vorher berechnet, ist 39,64; es ist folglich die producirte Temperatur $\frac{83{,}103}{39{,}64} = 2{,}096^{\circ}$.

Benutzt man Luft, die $^1/_5$ ihres Volums Dampf enthält, so würden die Gase bestehen aus 5,6 Kohlensäure, 27,2 Kohlenoxyd, 14,2 Wasserstoff und 53,2 Stickstoff. Die Gesammtmenge der entwickelten Wärme würde sein $26{,}3 \cdot 2403 + 0{,}96 \cdot 29674 = 91686$, und die durch die Verbrennung erzeugte Temperatur $\frac{91{,}686}{42{,}30} = 2{,}167^{\circ}$.

721. Bei der Anwendung von Torf fand Ebelmen, daß nur $^2/_3$ des Sauerstoffs der Luft in Kohlenoxyd verwandelt seien; es wirkt daher die stark erhitzte Torfkohle nicht so gut auf die Kohlensäure als die Holzkohle; es ist wahrscheinlich, daß bei einer größern Höhe des Brennmaterials eine vollständige Verwandlung hervorgebracht werden würde. In dieser Beziehung nähert sich die Torfkohle den Cokes, denn unter denselbeu Umständen ist eine bedeutendere Höhe von Cokes als von Holzkohle erforderlich, um den Sauerstoff der Luft in Kohlenoxyd zu verwandeln. In einem Cupolofen kann die Luft 1,50 M. Cokes durchströmen, ohne daß mehr als $^1/_3$ Sauerstoff der Luft in Kohlenoxyd verwandelt werden würde; bei der Benutzung von Holzkohlen würde die Kohlenoxydbildung weit schneller vor sich gehen, und um so mehr, je leichter verbrennlich die Kohlen sind. Man ersieht hieraus, warum man in den Windöfen mit Cokes eine höhere Temperatur als mit Holzkohlen erhält, und warum die letzteren in den Cupolöfen einen so geringen Nutzeffect haben. Diese verschiedenartigen Einwirkungen der Cokes und der Holzkohlen auf die Kohlensäure, um sie in Kohlenoxyd zu verwandeln, rührt wahrscheinlich von der größern oder geringern Brennbarkeit der Holzkohlen und von dem Zustande her, in welchem die Rückstände der Verbrennung vorkommen.

722. Aus den weiter oben mitgetheilten Resultaten der Ebelmen'schen Analysen über die Generatorengase folgt, daß die sich bildende Kohlensäure durch die Holzkohle zersetzt wird, und daß dasselbe bei dem Wasser=

dampf der Fall ist, daß das durchströmte Brennmaterial eine hinreichende Dicke habe. Bei diesen Wirkungen findet kein Wärmeverlust statt, denn der Wärmeeffect des Brennmaterials findet sich vollkommen in dem der erzeugten Gase vor, vermehrt um die Wärmemenge, die sie enthalten. Das Wasser, welches vollständig gebildet in dem Brennmaterial vorhanden ist, und das, welches sich bildet, ohne durch die Verbindung des Wasser- und Sauerstoffs Wärme zu geben, die sich in passenden Verhältnissen darin befinden, muß nothwendig eine Temperaturveränderung hervorbringen, weil dasselbe in Wasserstoff und in Kohlenoxyd verwandelt wird, die einen gewissen Wärmeeffect haben. Diese Temperaturveränderung muß genau den Wärmeeffect der von der Zersetzung herrührenden brennbaren Gase aufheben. Auch kann die in dem Brennmaterial enthaltene oder die in dem zu erzeugenden Dampf vorhandene Wassermenge eine gewisse Temperatur nicht übersteigen, wenn sich die Temperatur auf dem nöthigen Punkte zur Hervorbringung chemischer Wirkungen erhalten soll; wenn Wasser durch den Dampf gegeben wird, so kann man diese fragliche Grenze überschreiten, wenn man überhitzten Dampf einführt. Es ist von Wichtigkeit, daß die brennbaren Gase nicht mit einer hohen Temperatur ausströmen, wenn sie einen langen Canal zu durchströmen haben, ehe sie zu dem Heerde gelangen, da sie sonst auf dem Wege Wärme verlieren würden; da sie aber in gewissen Fällen sehr heiß sein müssen, so erhitzt man sie mittelst eines Theils von der verloren gehenden Hitze des Ofens selbst, wenn sie zu kalt zu demselben gelangen.

723. Um die Erscheinungen in den fraglichen Apparaten und besonders den Einfluß des Wasserdampfes besser begreifen zu können, wollen wir einen senkrechten Ofen von dickem Mauerwerk, der die Form eines kleinen Hohofens hat, und mit einem Brennmaterial gefüllt ist, welches nur Kohlenstoff und feste Materialien enthält, die oben aufgegeben werden, und der zwischen dem Aufgeben verschlossen bleibt, als Beispiel annehmen. Am untern Theile ist er mit Formen versehen, durch welche Wind unter einem gewissen Druck in den Ofen strömt. Sobald der Ofen im gehörigen Betriebe ist, verwandelt sich der Sauerstoff der Luft zuvörderst in Kohlensäure, und indem sich nun dieses Gas durch die glühende Brennmaterialschicht erhebt, verwandelt es sich nach und nach in Kohlenoxyd, und die Verwandlung wird vollständig sein, sobald die Höhe des Brennmaterials hinreichend in dem Ofen ist. Diese Höhe hängt aber von der Beschaffenheit des Brennmaterials, von dem Drucke des Windes und von der Menge desselben ab. Wenn der Sauerstoff vollständig in Kohlenoxyd verwandelt wird, so wird die von jedem Kilogrm. verbrannter Kohle hervorgebrachte Wärmemenge 2471 Einheiten betragen, und da man 5,73 Kilogrm. Luft mit 4,41 Kilogrm. Stickstoff eingeblasen hat, da sich ferner 2,33 Kohlenoxyd gebildet haben werden, so wird die Temperatur des Gases durch die Gleichung gegeben:

$$t\,(4{,}41 \cdot 0{,}244 + 2{,}33 \cdot 0{,}248) = 2473 = 1{,}65\,t;\ \text{daher } t = 1498^0;$$

eine sehr hohe Temperatur, obgleich die entwickelte Wärmemenge sehr gering, da die angewendete Luftmenge sehr klein ist. Man erreicht diese Temperatur in den Gasgeneratoren durchaus nicht; die Brennmaterialien enthalten sämmtlich eine mehr oder weniger bedeutende Wassermenge, die durch

ihre Zersetzung viel Wärme absorbirt, wie wir sogleich zeigen werden. Diese Zersetzung im Verein mit einigen anderen Ursachen des Verlustes ist die Ursache, daß sich die Temperatur der Gase nicht über etwa 800° erheben kann.

Wir wollen jetzt annehmen, daß die Kohle eine hohe Temperatur erlangt habe, und daß man nur Wasserdampf in dieselbe einführe; wir wollen ferner annehmen, daß derselbe zersetzt sei und wollen die erzeugte Wärmemenge berechnen. 1 Atom Kohlenstoff wird 1 Atom Kohlenoxyd und 2 Atome Wasserstoff erzeugen; es werden demnach 75 Kohlenstoff 175 Kohlenoxyd und 2 • 6,25 = 12,50 Wasserstoffgas hervorbringen; oder es wird 1 Kohlenstoff 2,33 Kohlenoxyd und 0,166 Wasserstoff geben. Der Wärmeeffect dieser beiden Gase wird sein 2,33 • 2403 + 0,166 • 34462 = 11350; da nun der Wärmeeffect des Kohlenstoffs nur 8080 beträgt, so findet eine Zunahme desselben von 11350 — 8080 = 3270 statt; und da das Wasser bei seiner Zersetzung und bei seiner Wiederbildung keine Wärme erzeugen kann, so folgt nothwendig, daß die Gase eine Temperaturverminderung erlitten haben. Der Ofen erkaltet alsdann schnell, und die Wasserzersetzung würde bald aufgehalten werden. Der Prozeß ließe sich nicht fortsetzen, wenn nicht das Brennmaterial in einem äußerlich erhitzten Mantel eingeschlossen wäre.

Wenn die zur Bewirknng der partiellen Verbrennung des Kohlenstoffs eingeführte Luft Wasserdampf in zunehmender Menge enthielte, so würde sich die Temperatur des Ofens nach und nach vermindern; an einem gewissen Punkte würde der Dampf zersetzt werden, und die Temperatur der Gase würde die sein, in welcher die Zersetzung des Dampfes aufhören müßte. Bei einem größern Dampfüberschuß würde ein Theil der Zersetzung entgehen und die Temperatur des Gemenges würde sinken.

724. Ungeachtet der Vortheile, welche die directe Gasbildung darbietet, Vortheile von hervorragender Art, zu denen besonders derjenige gehört, daß man Brennmaterialien von geringem Werthe und selbst Abfälle benutzen kann, hat sich diese Art der Verbrennung doch noch nicht allgemeiner verbreitet. Behält man vorzüglich die Eisenhütten im Auge, so besteht eines von den wesentlichen Hindernissen darin, daß es häufig an Triebkräften fehlt, und man alsdann ein durch Dampf betriebenes Gebläse errichten oder ein schon vorhandenes dazu verwenden müßte. Dadurch wird nun die Anlage der Gasflammöfen weit kostbarer als die anderer Oefen der Art.

In mehreren Gegenden Deutschlands werden die Gasapparate viel angewendet und mit vorher gedörrtem Holze betrieben; der noch nicht so hohe Preis des Holzes und die nicht zu bedeutende Entfernung der Haue von den Hütten begünstigt den Betrieb, wie z. B. in Steiermark, Kärnthen, am Harz u. s. w. Das Puddeln, Schweißen und Glühen des Eisens wird mit Hülfe von Gasflammöfen bewirkt, deren Einrichtung von der hier angegebenen nicht wesentlich verschieden ist.

Es ist nicht zu bezweifeln, daß wenn die Umstände, welche bis jetzt die Ausdehnung des Gashüttenbetriebes in Frankreich verhindert haben, günstiger werden, man auch dort diesen wichtigen Betrieb einzuführen nicht unterlassen wird.

Drittes Capitel.

Neue Einrichtungen von Oefen.

725. In den letzteren Jahren hat man sehr viel neue Einrichtungen von Oefen, deren hauptsächlicher Zweck die Vermeidung des Dampfes war, vorgeschlagen. Wir wollen die wichtigsten kennen lernen.

726. Apparat von Wye Williams. — Dieser Apparat besteht in einem hinter der Feuerbrücke eines gewöhnlichen Kesselofens angebrachten Kasten; die äußere Luft strömt in denselben ein und strömt, sobald sie die heißen Gase trifft, durch eine große Anzahl von Oeffnungen wieder aus. Der Erfinder zieht einen kalten einem warmen Luftzuge vor, weil bei gleichem Volum die kalte Luft mehr Sauerstoff enthält. Es scheint dieser Apparat in England eine große Verbreitung gefunden zu haben, indem man ihn dort für sehr wirksam hält.

727. Apparat von Prideaux. — Dieser Apparat unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Kesselofen nur durch die eigenthümliche Einrichtung seiner Feuerthür, welche aus einem Rahmen mit drei Reihen von eisernen Jalousien besteht. Dieselben öffnen und schließen sich zusammen mittelst eines Kolbens, der, durch sein eigenes Gewicht getrieben, sich in einem mit Wasser angefüllten Cylinder von etwas größerem Durchmesser bewegt. Die Geschwindigkeit wird durch die Bewegung des unter dem Kolben befindlichen und auf denselben tretenden Wassers regulirt. Durch diese Einrichtung wird in den Ofen eine Luftmenge eingeführt, die in den Zwischenräumen zwischen zwei auf einander folgenden Schürungen abnimmt. In Beziehung auf Rauchverbrennung hat dieser Apparat gute Resultate gegeben.

728. Der Apparat von Grar. — Der (689) beschriebene Apparat hatte den großen Nachtheil, Register zu erfordern, welche in der Nähe des Rostes angebracht waren, und die daher sehr bald unbrauchbar wurden, deren Hauptzweck es auch war, einen großen Theil des Kessels gegen die strahlende Wärme zu schützen. Grar hat diesen Nachtheil durch die in den Figg. 142 und 143 in einem Längen- und einem Querschnitte dargestellte Einrichtung vermieden. Die Heerde, ihrer Anzahl nach sechs, bei einem Generator von 130 Pferdekräften, sind in der Längenrichtung desselben angebracht. An jedem Ende ist ein Register, mit dessen Hülfe man die Gase rechts oder links ziehen lassen kann. Ueber den Heerden befindet sich ein Kessel, unter demselben ein zweiter, den die Verbrennungsproducte seiner ganzen Länge nach umspielen, ehe sie in die Esse strömen. Die Heerde müssen in Beziehung auf die Stellung der Register in einer gewissen Ordnung gefeuert werden. Wir wollen annehmen, daß alle Heerde gefeuert seien, und daß die Gase von der Linken nach der Rechten strömen; man wird nach und nach die Heerde von der Linken zur Rechten schüren; alsdann muß durch die Bewegung der Register die Richtung der Bewegung der Gase gewechselt werden, und man wird alsdann nach einander den sechsten, den fünften und den vierten Heerd schüren, und darauf, nach einer abermaligen Veränderung in der Richtung der Bewegung der Gase,

den ersten, den zweiten und den dritten Heerd. Diese Einrichtungen können mit jeder andern Anzahl der Heerde angewendet werden. Obgleich die erlangten Resultate nach Angabe des Erfinders sehr genügend sein sollen, so hat diese Einrichtung doch das Nachtheilige, sehr sorgfältige Heizer und viel Platz an den Seiten zu erfordern, und es ist daher die Verbreitung dieses Apparates eine beschränkte geblieben.

729. Der Apparat von Juckes. — Dieser Apparat, in Fig. 144 im Längendurchschnitt dargestellt, besteht aus einem mit Gelenken versehenen Roste, dessen Stäbe senkrecht auf der Länge des Heerdes stehen und sich regelmäßig von vorn nach hinten bewegen, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 27 bis 30 Millimeter in der Minute, so daß die kleinen Steinkohlen, mit denen der Rost geschürt wird, vorwärts bewegt werden; A Kessel- oder Siederöhre; B Rumpf zum Einschüren des Kohlenkleins, dessen Einführung auf den Rost durch die größere oder geringere Hebung des Registers D bewirkt wird, welches mittelst des Hebels l erfolgt; R,R, Walzen, um welche der Rost läuft; G,G,G, mit Gelenken versehener Rost, der sich um polygonale Trommeln bewegt, welche seine Bewegung leiten; sie sind an einem gußeisernen Gerüst befestigt, welches sich mittelst kleiner Räder auf den beiden Schienen H,H, rückwärts und vorwärts bewegen läßt; diese Vorrichtung gestattet das Zurückziehen des Rostes, um ihn zu repariren. Während der Bewegung des Rostes muß das Brennmaterial nach und nach verzehrt werden und als Sinter an das Ende gelangen, welcher auf einer geneigten Platte in einen Trog fällt.

Bei hinreichend hoher und weiter Esse ist dieser Apparat gänzlich rauchverzehrend. Man muß auf demselben Kleinkohlen verbrennen, da es den Stückkohlen an der nöthigen Zeit zur vollständigen Verbrennung fehlen würde; die Höhe des Registers muß durch die Erfahrung bestimmt werden, und zwar so, daß das Ende des Rostes mit einer hinreichenden Sintermenge bedeckt sei, um die Einführung einer zu großen Luftmenge zu verhindern. Die Erfahrung hat bei der Benutzung dieses Apparates eine Ersparung nicht finden können; andererseits ist er so zusammengesetzt, daß er von Seiten des Feuermannes eine große Sorgfalt beansprucht und daß dennoch Reparaturen nicht fehlen können. Außerdem ist die Regelmäßigkeit der Schürung eine wesentliche Unbequemlichkeit bei Maschinen, die zu Zeiten still stehen, oder mit veränderlicher Kraft betrieben werden müssen. Es ist schwierig, die Verbrennung im Verhältniß zu dem Dampfbedarf zu reguliren, besonders aber sie gänzlich zu unterbrechen. Dagegen gewährt er den Vortheil, daß auf ihm die schlechtesten Steinkohlen verbrannt werden können.

730. Der Apparat von Cutler, verbessert von Dr. Arnott. — Dieser bereits im Jahre 1815 von Cutler für Hausfeuerungen erfundene Apparat hat folgende Einrichtung: Der Heerdraum war unten durch eine senkrechte gußeiserne Platte von ungefähr 0,30 M. Höhe verschlossen, die in derselben Höhe in einem Rost von 0,10 bis 0,15 M. Höhe auslief. Hinter dieser Platte befand sich eine horizontale Platte, die eine etwas kleinere Oberfläche als der horizontale Querschnitt des Rostes hatte, und die man mittelst zweier über Rollen laufender Ketten durch eine Kurbel und ein Gegengewicht höher oder niedriger stellen konnte. Wenn die horizontale Platte im Niveau der Sohle befindlich ist, so versieht man sie mit Kohlen bis zu Anfang des Rostes und bedeckt sie mit Cokes, die

man entzündet; die den Steinkohlen von oben nach unten mitgetheilte Wärme zersetzte sie, und indem die Gase die glühenden Cokes durchströmen, werden sie von der Luft, welche durch den Rost geht, oder welche jenseit desselben eingeführt wird, verbrannt. In dem Maaße, wie die Cokes verzehrt werden, hebt man die Kohlen mittelst der Kurbel. Später ist dieser Apparat vom Dr. Arnott verbessert worden. Er hat die Ketten, die ein unangenehmes Ansehen hatten, durch eine Zahnstange ersetzt, welche unter der horizontalen Platte angebracht ist, und die mittelst einer Eisenstange bewegt wird; an dem Roste hat er eine blecherne Wand angebracht, deren Zweck Beförderung der Verbrennung und Entzündung der Cokes zu Anfang des Feuerns ist. Dieser Heerd verbrennt den Rauch unter den Verhältnissen, unter denen er eingerichtet ist, sehr gut, und er ist besonders darin bequem, daß die Kohlencharge zum Verbrauch eines ganzen Tages hinreicht. Bei der Stubenfeuerung im dritten Bande, kommen wir auf den Apparat zurück.

731. Die Apparate von Letestu und Boquillon. — Dieser Apparat besteht aus einem horizontalen Cylinder, der einen ununterbrochenen Rost bildet, sich um seine Achse bewegt und an einem Theile seiner Oberfläche sich öffnen kann. Wenn der Cylinder zum Theil mit glühenden Cokes angefüllt ist, so bringt man durch die Thür Steinkohlen hinein und nachdem er verschlossen ist, dreht man den Cylinder so herum, daß die Steinkohle unter die Cokes zu liegen kommt. Diese Einrichtung kann nur bei Hausfeuerung angewendet werden; es ist wahrscheinlich, daß dieser Cylinder bei einem gut eingerichteten Feuer die Verbrennung des Rauches veranlassen würde, allein er hat wesentliche Unbequemlichkeiten. Als allgemeine Bemerkung muß noch hinzugefügt werden, daß durch diese Vorrichtung die Bildung des Kohlenoxyds sehr erleichtert wird.

732. Der Apparat von Dumery. — Dieser in Fig. 145 im Querdurchschnitt dargestellte Apparat beruht auf denselben Grundsätzen, wie der Arnott'sche; das Schüren erfolgt von unten, die Steinkohle wird hierbei destillirt und die Gase werden durch die Luft verbrannt, indem sie die glühenden Cokes durchströmt. Die Einrichtung eines solchen Apparates, der den gewöhnlichen Rost eines feststehenden Generators mit äußerem Heerde ersetzt, ist folgende: Die beiden Stäbe von der Mitte des Rostes sind beibehalten, die übrigen aber weggenommen; in den beiden länglich viereckigen Räumen, die zu beiden Seiten der Roststäbe geblieben sind, gehen zwei gußeiserne Röhren B mit länglich viereckigem Querschnitt aus, deren Achse rund ist und die durch die Seitenflächen des Aschenkastens gehen. Der Querschnitt eines jeden von ihnen in der Ebene der beibehaltenen Stäbe füllt den Raum der weggenommenen Stäbe vollständig aus; allein der Querschnitt nimmt von diesem Punkte ausgehend bis zu dem freien Ende ab, so daß jede Seite um etwa 0,12 Meter kleiner ist. Die beiden äußeren Enden der Röhren sind frei und die Oberflächen der inneren Theile der Röhren sind mit Spalten versehen, durch welche die Luft eintreten kann. Endlich befindet sich in jeder Röhre eine Art Kolben A, der den Zweck hat, die Kohlen nach der Mitte des Heerdes zu treiben. Soll nun dieser Apparat angewendet werden, so füllt man die Röhren bis zu Anfang der Spalten, die den Zweck haben, die zur Verbrennung erforderliche Luft zu liefern; darauf bringt man Cokes, die man auf die gewöhnliche Weise entzündet. Wenn die Cokes zum Theil verzehrt sind, so drückt man mittelst der Kolben gegen das am innern Ende der Röhren zum größten Theil

in Cokes verwandelte Brennmaterial, schürt die Röhren von außerhalb und setzt den Betrieb fort.

Der Dumery'sche Apparat ist an mehreren gewöhnlichen Kesselöfen, sowie auch an Locomotiven der französischen Ostbahn angebracht und zwar bei den letzteren, um die Cokes durch Steinkohlen ersetzen zu können. Sie haben unstreitig den Vortheil, den Rauch wenigstens für einen Brennmaterialverbrauch innerhalb gewisser Grenzen und für eine gewisse Tiefe des Heerdes verbrennen zu können, und dies um so mehr, da nach den von Ebelmen mit den Vercokungsöfen angestellten und in Nr. 177 mitgetheilten Versuchen die von der Destillatian der Steinkohle herkommenden Gase verbrennlicher als die Cokes sind. Man kann übrigens die Dicke der Cokesschicht, welche über die Ebene der beibehaltenen Roststäbe hinausgeht, nach Belieben verändern.

Es ist bis jetzt Nichts darüber gesagt, ob in diesem Apparate die äußere Luft in einer nur hinlänglichen Menge eingeführt wird, um die vollständige Verbrennung der Gase und der Cokes zu bewirken, oder ob die sich aus dem Heerde entwickelnden Gase freien Sauerstoff oder Kohlenoxyd enthalten, und es ist dies eine in Beziehung auf den Haushalt sehr wesentliche Frage. Weitere Versuche würden den Gang deutlich erkennen lassen und wahrscheinlich zu einer nothwendigen Veränderung der Production der höchsten Temperatur und folglich des Nutzeffectes führen. Nach den von dem Erfinder mitgetheilten Bemerkungen scheint es, als wenn über dem Rost Luft eingeführt würde. Allem Anschein nach geben diese Apparate nicht so viel Dämpfe als die mit gewöhnlichem Roste.

Man hat neuerlich einen Apparat vorgeschlagen, der große Aehnlichkeit mit dem vorliegenden hat. Derselbe besteht aus zwei horizontalen Rosten, die in einer Ebene liegen und durch einen länglich viereckigen Zwischenraum getrennt sind, in welchem sich ein nach außerhalb zu offener Kasten von gleicher Form befindet. In demselben ist ein Kolben, der das Brennmaterial trägt und durch dessen aufsteigende Bewegung das mehr oder weniger destillirte Brennmaterial zu beiden Seiten auf den Rost geworfen wird. Diese Einrichtung gewährt offenbar dieselbe Wirkung, wie die Apparate mit ununterbrochener Speisung, nur ist sie für das Einschüren minder bequem.

733. Die Treppenroste. — Diese Roste haben neuerlich eine sehr große Verbreitung gefunden, und namentlich werden sie sowohl bei Dampfkessel- als auch bei Flammöfen in den Hüttenwerken sehr vortheilhaft da angewendet, wo man magere Steinkohlen und Braunkohlen zu brennen hat. Die allgemeine Einrichtung eines Treppenrostes für einen Dampfkessel mit Siederöhre erkennt man aus dem Längendurchschnitt Fig. 146. Das Einschüren des Kohlenkleins, wofür diese wichtige Einrichtung hauptsächlich dient, erfolgt auf den obersten Stab der Treppe, und indem die Kohlen in Gluth gerathen, werden sie von dem Heizer auf die folgenden Treppenstufen hinabgestoßen. Auch bei Locomotiven für Güterzüge bei der Steinkohlenfeuerung sind die Treppenroste neuerlich mit großem Vortheil eingeführt worden, und man hat damit sehr genügende Resultate erlangt.

Das was der Verfasser des vorliegenden Werkes über die Treppenroste sagt, stützt sich auf die Versuche von Viollett und Combes, welche der Bearbeiter bereits im Jahre 1855 bei seiner in zwei Auflagen existirenden kleinen Schrift „über Rauchverbrennung" (Weimar, 1855 und 1858)

ausführlich benutzt hat. Dagegen hat das königl. Preuß. Bergamt zu Saarbrücken eine in den wichtigsten deutschen technischen Journalen mitgetheilte „Anweisung zum Bau von Treppenrosten für die Feuerung der Dampfkessel auf den königlichen Steinkohlengruben im Bergamtsbezirke Saarbrücken" veröffentlicht, die eine große Gemeinnützigkeit hat und aus der wir das Folgende entnehmen.

Bei der Steinkohlengewinnung auf den Gruben der magern Flötzpartie im Saargebiete (sowie übrigens in allen anderen Steinkohlengebieten mit mageren Flötzen) fällt eine nicht unbeträchtliche Menge kleiner Kohlen (magerer Steinkohlengries), welche nur deshalb für den Handel einen geringern Werth haben, weil sie sich auf den gewöhnlichen Planrosten sehr mangelhaft vernutzen lassen. Um nun diese kleinen mageren Kohlen vortheilhafter verwenden zu können, sind seit Jahr und Tag auf den dortigen Gruben bei den Dampfkesselfeuerungen Treppenroste eingerichtet und auf diesen umfangreiche Versuche über den zweckmäßigsten Verbrauch derselben angestellt worden. Diese haben zu sehr befriedigenden Resultaten geführt und unzweifelhaft dargethan, daß auf Treppenrosten mit einem Centner magerem Steinkohlengries fast dieselbe Dampfmenge erzeugt werden kann, als mit einem Centner Stücke derselben Steinkohle.

Zweckmäßig eingerichtete Treppenroste gewähren nämlich vor den gewöhnlichen Planrosten bei der Anwendung von magerem Gries folgende Vortheile: zunächst ist es unmöglich, daß bei dem Treppenroste irgend eine Kohlenmenge durch den Rost fällt, und es wird daher die ganze auf den Rost aufgegebene Kohlenmenge wirklich verbrannt und für den beabsichtigten Zweck der Heizung nutzbar gemacht. Ferner ist der Treppenrost fortdauernd mit einer gleich starken Schicht von Kohlen bedeckt und entwickelt daher ohne irgend welche Unterbrechung eine gleichmäßige Hitze, welche die Kessel weniger angreift, als der bei dem planen Roste unvermeidliche Wechsel zwischen niederer Temperatur (bei und nach dem Aufgeben neuer Kohlen) und einer starken Hitze (in der Zwischenzeit zwischen zwei Aufschüttungen).

Sodann fällt bei dem Treppenroste jede Zuführung überschüssiger kalter Luft zu dem Heerdraume und somit derjenige Wärmeverlust weg, welcher bei den planen Rosten dadurch entsteht, daß bei dem Aufgeben von frischer Kohle Tausende von Kubikfußen kalter Luft in den Feuerraum strömen, diesen abkühlen und ungenutzt durch die Esse abziehen. Endlich führen die ununterbrochene Kohlenschüttung, der Abschluß aller überschüssigen kalten Luft und die hieraus resultirende Gleichmäßigkeit der Verbrennung bei dem Treppenroste den wesentlichen Vortheil herbei, daß ein mit klarer Kohle gespeister Treppenrost keinen Rauch liefert und somit nicht nur seiner Umgebung die Unannehmlichkeit des bei den planen Rosten für die Zeit des Kohlenaufschüttens unvermeidlichen Rauches erspart, sondern auch außerdem die in jenem Rauche enthaltene Heizkraft für die Feuerung ausnutzt.

I. Abmessungen des Treppenrostes. Die Größe der Rostfläche ist wesentlich abhängig von der Güte des Brennmateriales, und im Allgemeinen wird anzunehmen sein, daß dieselbe um so bedeutender sein muß, je unreiner die Steinkohlen sind, welche auf dem Roste zur Verwendung kommen. Da es nun Zweck dieser Roste ist, die schlechtesten, von Steinen und Schmuz untermischten, zu jedem Stubenbrande untauglichen,

mithin unverkäuflichen Kohlen zu benutzen, so wird man dieselben möglichst groß anlegen müssen, und deshalb ist das Verhältniß der Rostfläche zu der feuerberührten Fläche, wenn nicht besondere Verhältnisse es anders bedingen, nie kleiner als 1 : 20 anzunehmen. Für die in den Handel kommenden reineren Grieskohlen genügt eine Rostfläche, welche $^1/_{25}$ von der feuerberührten Fläche des Kessels beträgt.

Die Länge des Rostes ist bedingt: 1) durch die Tragfähigkeit der Rostbalken, auf denen die Stäbe ruhen; 2) dadurch, daß bei großer Länge der obere Theil des Rostes zu weit von dem Kessel entfernt und bei der größten Höhe des Rumpfes die Bedienung des Kessels sehr erschwert wird. Hiernach soll die lichte, schräge Länge des Rostes zu 5 Fuß angenommen werden.

Die zweckmäßigste Länge der Roststäbe hat sich zu etwa 22 Zoll ergeben, und daher wird die Breite des Rostes nach einem Vielfachen des Maaßes von 22 Zoll anzunehmen sein. Liegen mehrere Kessel neben einander, so kann bei einem geringen Durchmesser und großer Länge derselben der Fall vorkommen, daß die Breite des Rostes beschränkt werden muß, und ist nöthigenfalls dann bei der Bemessung der Dicke der gemeinschaftlichen Trennungswand zweier neben einander liegenden Roste bis auf die Länge eines feuerfesten Steines herabzugehen.

II. Form und Construction des Rostes mit Rumpf. Der Rost selbst besteht aus dem Rostbalken und den Roststäben. Die Neigung des Rostes wird so bestimmt, daß sich die Grundlinie der schiefen Rostfläche zur Höhe derselben wie $1^1/_2$ zu 1 verhält. Die Entfernung der Rostbalken im Lichten beträgt 22 Zoll, die beiden Falze in demselben zum Einlegen der Roststäbe sind je 1 Zoll tief, daher die Länge der Roststäbe gleich 24 Zoll. Wegen der Unebenheiten beim Guß und weil die Stäbe von oben in die Falze eingeschoben werden müssen und in der Wärme sich ausdehnen, werden dieselben nur 23 Zoll lang gegossen.

Die Dicke der Stäbe (Fig. 146 c) ist $^1/_2$ Zoll, und die lichte senkrechte Entfernung gleich $1^1/_4$ Zoll. Bei der $1^1/_2$ füßigen Neigung der Rostfläche liegt die untere Vorderkante des zunächst darunter liegenden um $1^1/_4 + \frac{1^1/_4}{2} = 1^7/_8$ Zoll zurück, und deshalb ist die Breite des Roststabes zu 4 Zoll angenommen, um das Durchfallen der kleinen Kohlen nach hinten zu verhüten.

An den Enden und in der Mitte der Roststäbe ist zur Unterstützung an jedem eine Flantsche angegossen, welche erstere in den Falzen der Rostbalken passen und senkrecht gemessen $1^1/_4$ Zoll hoch sind, so daß hierdurch die Roststäbe in ihrer Lage gehalten werden.

Die Mittelrostbalken (Fig. 146 a) erhalten eine Breite von $2 \times 1 + {}^1/_2 = 2^1/_2$ Zoll, die Eckstäbe (Fig. 146 b) von $1^3/_4$ Zoll; die ganze Höhe derselben beträgt 3 Zoll. Die Rostbalken legen sich mit je zwei Nasen auf zwei eingemauerte gußeiserne Stäbe, von denen der obere, vierkantig, 3 Zoll hoch und $1^1/_2$ Zoll breit, der andere, uförmig, 2 Zoll hoch und $1^3/_4$ Zoll breit ist. Die Länge dieser Stäbe richtet sich nach der Breite des Rostes und ist um 1 Fuß größer als letztere zu nehmen, damit dieselben auf jeder Seite 6 Zoll in die Seitenmauern eingreifen.

Zur Entfernung der Asche bleibt unter dem untersten Roststabe mindestens ein Raum von $6\frac{1}{4}$ Zoll Höhe, welcher durch Bleche von je 18 Zoll Länge und 5 Zoll Höhe mit hölzernem Stiele für jede Abtheilung geschlossen wird. Die Stiele dieser Vorsetzbleche werden auf einen eingemauerten gußeisernen Balken gelegt und dadurch in ihrer Lage erhalten. Uebrigens wird dieser Verschluß durch die fallende Asche von selbst herbeigeführt, da vor dem Roste noch 1 Fuß breit das Mauerwerk fortgesetzt ist, um das leichte Herausfallen der Asche zu verhindern. Der Verschluß bei dem Anfeuern ist auch durch Vorwerfen von Asche zu erzielen, so daß ein geübter Schürer der Vorsetzbleche ganz entbehren kann.

Die Länge des Rostes im Lichten soll, wie vorbestimmt, 5 Fuß betragen. Die Höhe des Roststabes mit Zwischenraum beträgt $1\frac{1}{4} + \frac{1}{2} = 1\frac{3}{4}$ Zoll. Bei $1\frac{1}{2}$ füßiger Neigung ergiebt sich dieselbe schräg gemessen zu $\sqrt{1{,}75^2 + 2{,}625^2} = 3{,}15$ Zoll, und mithin sind auf 60 Zoll Länge $\frac{60}{3{,}15} = 19$ Stäbe erforderlich. Hierzu tritt der untere Roststab, welcher zur Aschenöffnung dient, so daß im Ganzen 20 Roststäbe über einander liegen.

Der Falz für die Roststäbe beginnt mindestens 5 Zoll über der Sohle des Rostes und erhält zur Aufnahme der Stäbe eine Länge von $20 \cdot 3{,}15 = 5$ Fuß 3 Zoll. Derselbe wird über die Roststäbe hinaus bis an das Ende des Balkens geführt, damit die Roststäbe von oben eingeschoben werden können, und der Rumpf wird durch Schraubenbolzen auf die 2 Zoll breite, obere Fläche des Balkens befestigt.

Der Rumpf oder der Trichter über dem Roste dient zur Aufnahme der Kohlen. Die Länge desselben ist gleich der Breite des Rostes, und die Breite desselben gleich etwa 18 Zoll. Die kurzen Seitenwände des Rumpfes werden durch die Mauern gebildet. Die vordere gebrochene Seite des Rumpfes besteht aus zwei Platten von Eisenblech (nicht Gußeisen, da solches hier leicht springt). Die untere Platte setzt sich möglichst scharf auf den obersten Roststab auf und liegt in der geneigten Ebene des Rostes. Die lichte Breite derselben wird bei 18 Zoll Weite des Rumpfes $= \sqrt{1{,}5^2 + 1^2} = 1{,}8$ Fuß $= 1$ Fuß $9\frac{1}{2}$ Zoll. Das Blech selbst ist $2\frac{1}{2}$ Zoll breiter, nämlich gleich 2 Fuß zu nehmen, um es mit dem obern senkrechten Blech verbinden zu können. Auf jedem einzelnen Rostbalken wird es mit je zwei Schrauben befestigt, für welche das Muttergewinde in den Rostbalken selbst eingeschnitten wird.

Die Oeffnung, welche zwischen dem obersten Roststabe und dem untersten Rumpfbleche entsteht, ist mit Thon oder Lehm dicht zu verschmieren, damit dort keine Luft durchgeht und das Feuer nicht in den Rumpf brennt.

Das senkrecht stehende Blech der Vorderseite erhält eine Höhe von 18 Zoll. Beide Bleche sind wo möglich aus altem Kesselbleche zu fertigen. Am obern Ende des senkrechten Bleches ist ein gußeiserner Stab eingemauert, auf dem das senkrechte Blech mit dem umgebogenen Ende ruht.

Die Hinterwand des Rumpfes wird schon durch die Mauerung gebildet, jedoch muß daselbst eine gußeiserne Platte angebracht werden, welche die Oeffnungen zum Durchfallen der Kohlen regulirt, da das Gewölbe in der Mitte bei der großen Breite der Roste weit höher liegt wie an den

Enden, so daß die Oeffnung in der Mitte größer und in Folge dessen die Kohlenbeschüttung stärker als an der Seite sein würde.

Die Oeffnung zum Durchfallen der Kohlen oder die lichte Entfernung der Unterkante der oben besprochenen gußeisernen Platte von dem obersten Roststabe ist nicht unter 4 Zoll und nicht über 6 Zoll zu nehmen.

Sollen nur kleine durchgesiebte Kohlen (Gries) auf dem Roste verbrannt werden, so ist 4 Zoll ausreichend; sollen unreine Kohlenstücke mit verbrannt werden, so ist die Oeffnung etwas größer, bis etwa 6 Zoll anzunehmen.

Die Befestigung dieser gußeisernen Platte geschieht durch eingemauerte eiserne Bolzen. Auch kann dieselbe einige Zoll länger als die Breite des Rostes gegossen und an beiden Enden eingemauert werden.

Der Boden des Rostes ist 2 Fuß über dem Fußboden des Kesselhauses angenommen, damit die Asche leichter beseitigt und in einem vorgesetzten Wagen abgezogen werden kann.

Zur Regulirung der dem Roste zuströmenden Luftmenge können vor dem Roste vierflügelige Thüren aus Blech angebracht werden, denen die beiden gußeisernen Träger als Rahmen dienen. Durch Verschließen derselben ist es möglich, längere Zeit, z. B. über Nacht, das Wasser im Kessel warm zu erhalten, und es wird auch, bei gut schließendem Rauchschieber, das Feuer nicht vollständig erlöschen, so daß am andern Morgen durch Herstellung des Zuges dasselbe leicht wieder angefacht werden kann.

III. Lage und Abmessung an den Feuerungen. Im Allgemeinen ist bei der Anlage dieser Feuerungen wegen der Mauerung und Lage derselben Folgendes zu beobachten (man vergl. Fig. 6): die von dem Feuer berührten Mauerflächen sind sämmtlich $1/2$ Stein stark mit feuerfesten Steinen zu verblenden, und den sämmtlichen Gewölben als Mindestmaaß auf den Fuß Länge 1 Zoll Stichhöhe zu geben. Alle scharfen Ecken sind bei der Mauerung zu vermeiden, und dieselbe ist von geschickten Arbeitern und mit Vorsicht zu fertigen; und ferner: 1) der Boden des Rostes muß so tief unter der Oberkante der Feuerbrücke liegen, daß nicht zu befürchten ist, daß die Asche, wenn sie sich auch in größerer Menge ansammeln sollte, in den Zug oder in das Feuerrohr hin fortgerissen würde, und daher ist dieser Höhenunterschied in allen Fällen nicht unter 9 Zoll zu nehmen. 2) Ueber dem Boden des Rostes ist dem Gewölbe eine hinreichende Höhe von 2 bis 3 Fuß zu geben, damit dieselbe durch Ansammeln von Asche nicht beengt werden kann, und stets der Raum für eine möglichst vollständige Verbrennung der Kohlentheile vorhanden ist. Dieselbe wird im Scheitel des Gewölbes, nach der Annahme von oben, um eben so viel Zolle höher als der Kämpfer sein, wie die Breite des Rostes in Fußen beträgt. 3) Die waagerechte Entfernung von der Hinterkante des untersten Roststabes bis zur Vorderkante des Kessels (unberücksichtigt des feuerfesten Futters) ist gleich der mittlern Höhe des Gewölbes über dem Boden des Rostes $2^1/_2$ bis 3 Fuß zu nehmen. 4) Zunächst dem Rumpfe oder Trichter ist die Kämpferlinie des Gewölbes nicht niedriger als die Unterkante der gußeisernen Platte zu legen, da durch diese die Größe der Oeffnung zum Durchfallen der Kohlen gebildet wird. Am Besten wird man die Kämpferlinie gleich der größten Höhe dieser Oeffnung legen, weil dann durch Heben oder Senken der Platte die Oeffnung höher oder niedriger gemacht und für die Verbrennung von Gries oder von unreinen Kohlenstücken eingerichtet werden kann.

Der Querschnitt der Zugöffnung an der Feuerbrücke ist zu $^1/_{100}$ von der feuerberührten Fläche des Kessels anzunehmen.

IV. Schüren der Treppenroste. Wie oben bemerkt, dient der Rumpf zur Aufnahme der Kohlen, welche durch die 4 bis 6 Zoll hohe Oeffnung dem Roste zugeführt werden. Der Rumpf muß stets mindestens bis zur halben Höhe mit Kohlen angefüllt sein, damit nicht Luft durch den Rumpf auf den Rost tritt, und dadurch die Kohlen im Rumpfe entzündet werden. Auch ist es nach den gemachten Erfahrungen zweckmäßig, die Kohlen etwas angefeuchtet zu verwenden, was durch Zuleitung von Wasser aus der Speiseröhre in einer hölzernen Rinne leicht bewirkt werden kann.

V. Vergleichung der Beschaffungs- und Erbauungskosten eines Treppenrostes mit denen eines Planrostes. 1) In der Dampfsägemühle der Steinkohlengrube Gerhard liegen zwei vollkommen gleiche Kessel. Jeder derselben besteht aus einem Hauptkessel von 4 Fuß Durchmesser bei 10 Fuß Länge und zwei Vorwärmern von 2 Fuß Durchmesser und 12 Fuß Länge mit zusammen etwa 200 Quadratfuß Feuerberührungsfläche. Der eine der Kessel ist mit einem Treppenroste, der andere mit einem Planroste versehen. Der Treppenrost ist 60 Zoll lang und 42 Zoll breit; der Planrost ist 42 Zoll lang und 42 Zoll breit.

Der erstere hat gekostet:

für Guß- und Schmiedeeisen	78 Thlr.
„ Einmauerung mit Material . . .	42 „
Zusammen	120 Thlr.

Der zweite hat gekostet:

für Guß- und Schmiedeeisen	77 Thlr.
„ Einmauerung mit Material . . .	73 „
Zusammen	150 Thlr.

2) Auf dem Gegenortsschachte der Steinkohlengrube Duttweiler liegen ebenfalls mehrere vollkommen gleiche Kessel. Dieselben bestehen aus einem Hauptkessel von 5 Fuß Durchmesser und 25 Fuß Länge und einem Vorwärmer von $2^1/_2$ Fuß Durchmesser und 22 Fuß Länge mit zusammen etwa 360 Quadratfuß Feuerberührungsfläche. Einer dieser Kessel ist mit einem Treppenroste, die anderen sind mit Planrosten versehen. Der Treppenrost ist 60 Zoll lang und 45 Zoll breit; die Planroste sind 60 Zoll lang und 48 Zoll breit.

Der erstere hat gekostet:

für Guß- und Schmiedeeisen	72 Thlr.
„ Einmauerung mit Material . . .	45 „
Zusammen	117 Thlr.

Die zweiten haben jeder gekostet:

für Guß- und Schmiedeeisen	152 Thlr.
„ Einmauerung mit Material . . .	75 „
Zusammen	227 Thlr.

3) Auf dem Wasserhaltungsschachte der Grube Reden liegen drei vollkommen gleiche Kessel. Dieselben haben 7 Fuß Durchmesser bei 20 Fuß

Länge; sie sind mit zwei Feuerröhren von 33 Zoll Durchmesser versehen und besitzen somit etwa 565 Quadratfuß Feuerberührungsfläche. Einer dieser Kessel ist mit einem Treppenroste, die beiden anderen sind mit Planrosten versehen. Der Treppenrost ist 60 Zoll lang und 40 Zoll breit; die Planroste sind 60 Zoll lang und 2 • 32 = 64 Zoll breit.

Der erstere hat gekostet:

für Guß- und Schmiedeeisen	72 Thlr.
„ Einmauerung mit Material . . .	84 „
Zusammen	156 Thlr.

Die letzteren haben jeder gekostet:

für Guß- und Schmiedeeisen	151 Thlr.
„ Einmauerung mit Material . . .	4 „
Zusammen	155 Thlr.

VI. Vergleichung des verwendeten Brennmateriales auf den vorstehenden Rosten unter annähernd gleichen Umständen bei dem Betriebe der Kessel. 1) Auf dem Treppenroste unter 1) V. sind im Laufe eines Monats in 224 Stunden etwa 500 Ctr. Sägemehl mit 60 Ctr. Praschen gemischt verbrannt; mithin in 1 Stunde 2,23 Ctr. Sägemehl und 0,27 Ctr. Praschen. Auf dem Planroste unter 1) V. sind im Laufe eines Monats in 570 Stunden etwa 750 Ctr. vorzüglicher Stückkohlen verbrannt; mithin in 1 Stunde 1,31 Ctr.

2) Auf dem Treppenroste unter 2) V. sind im Laufe eines Monats in 422 Stunden 900 Ctr. Schlammkohlen und kleine Praschen mit 90 Wagen (à 10 Ctr. Steinkohlen-Inhalt) Sägemehl und Sägespäne verbrannt; mithin in 1 Stunde 2,1 Ctr. Schlammkohlen und Praschen und 0,21 Wagen Sägemehl und Holzspäne. Auf dem Planroste unter 2) V. sind im Laufe eines Monats in 422 Stunden 1000 Ctr. gute verkäufliche Kohlen verbrannt; mithin in 1 Stunde 2,37 Ctr.

3) Da die kleinen Kohlen (Gries) der Grube Reden sich vor Allem zur vortheilhaften Benutzung auf Treppenrosten eignen, so sind auf dieser Grube genauere Versuche angestellt worden und haben dieselben ergeben: daß auf dem Treppenroste unter 3) V. mittelst 1 Pfd. Grieskohlen = 5,6 Pfd. Wasser und auf dem Planroste mittelst 1 Pfd. Förderkohlen =. 6,7 Pfd. Wasser verdampft werden. Dabei blieben bei der Verwendung von Grieskohlen etwa 14,28 Proc. Asche und bei der Verwendung von Förderkohlen etwa 11,5 Proc. Asche übrig.

Aus Vorstehendem geht hervor, daß die Anlagekosten der Treppenroste nicht höher sind, als die der Planroste, und ferner, daß wenn, wie jetzt für 100 Pfd. Grieskohlen der Grube Reden 1 Sgr. und für 100 Pfd. Förderkohlen 4 Sgr. bezahlt wird, die Erzeugung von 100 Pfd. Dampf mit Grieskohlen 2,14 Pfennige und mit Förderkohlen 7,16 Pfennige kostet. Der mit Grieskohlen entwickelte Dampf ist also für 100 Pfd. um 5,2 Pf. billiger, als der mit Förderkohlen erzeugte Dampf.

Es würde z. B. das Brennmaterial einer zehnpferdigen Dampfmaschine, die pro Stunde etwa 150 Pfd. Grieskohlen consumirt, im Jahre bei 3600 Stunden Arbeitszeit kosten:

wenn Redengries angewandt wird

$$\frac{3600 \cdot 150 \cdot 1 \text{ Sgr.}}{100 \cdot 30} = 180 \text{ Thlr. und}$$

wenn Reden=Förderkohlen angewandt werden

$$\frac{3600 \cdot 150 \cdot 4 \text{ Sgr.} \cdot 5{,}6}{100 \cdot 30 \cdot 6{,}7} = 600 \text{ Thlr.}$$

Diese Zahlenverhältnisse gelten für eine Dampfmaschine, welche man auf der Grube Reden alternativ mit Gries oder mit Förderkohle betreiben will. Bei Dampfmaschinen, welche von jener Grube entfernt liegen, stellten sich die Zahlen etwas anders, indeß sprechen dieselben immer noch zu Gunsten der Treppenroste.

In Ludwigshafen z. B. kommen zur Zeit 100 Pfd. Grieskohlen
zu 1 Sgr. Ankaufspreis und nahe
„ 3 „ Fracht, also überhaupt
zu 4 Sgr. zu stehen, während 100 Pfd. Förderkohlen kosten
4 Sgr. Ankaufspreis, nahe
3 „ Fracht
Summa 7 Sgr.

Hier wird demnach kosten die Erzeugung von 100 Pfd. Dampf mit Grieskohlen 8,57, mit Förderkohlen aber 12,54 Pfennige.

Der Betrieb einer zehnpferdigen Dampfmaschine wird aber bei jährlich 3600 Betriebsstunden daselbst kosten:

$$\text{mit Gries} = \frac{3600 \cdot 150 \cdot 4 \text{ Sgr.}}{100 \cdot 30} = 720 \text{ Thlr.}$$

$$\text{mit Förderkohlen} = \frac{3600 \cdot 150 \cdot 7 \text{ Sgr.} \; 5{,}6}{100 \cdot 30 \cdot 6{,}7} = 1053 \text{ Thlr.}$$

Da nun auch die Unterhaltungs= und Reparaturkosten der Treppenroste bei Anwendung von mageren Grieskohlen nicht theurer sind, als die der Planroste, so ist der große Vortheil der ersteren für die Feuerung mit mageren Grieskohlen außer jedem Zweifel und somit die Einrichtung von Treppenrosten zur Heizung von Dampfkesseln und sonstigen größeren Feuerungen mit magerem Redengries nur zu empfehlen.

734. Der Apparat von Beaufumé. — Dieser Apparat besteht aus einem quadratischen blechernen Kasten voll Wasser mit doppelten Wänden, die durch Stehbolzen, wie bei den Feuerkasten der Locomotiven, befestigt sind. Der Rost ist am untern Theile angebracht und nimmt eine Brennmaterialschicht von 0,60 bis 0,70 M. auf. Unter den Rost wird von einem Ventilator, der durch eine kleine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wird, Wind eingeblasen, und es entsteht zuvörderst Kohlensäure und Wasserdampf; diese Gase verwandeln sich aber bald in Kohlenoxyd und Wasserstoff, indem sie durch die glühenden Kohlen gehen. Eine Röhre führt sie unter den Kessel, wo sie sich entzünden, nachdem sie mit ebenfalls durch den Ventilator eingeblasener Luft vermengt worden sind. Es ist dieser Apparat daher ein wirklicher Gasometer von Blech (718) von Wasser umgeben. Das Einschüren wird mittelst zweier Rumpfe mit doppeltem Ventil

bewirkt, die eine solche Einrichtung haben, daß zwischen dem Rost und der äußern Luft nie eine unmittelbare Verbindung stattfinden kann.

Der Apparat von Beaufumé hat bei den mit ihm angestellten Versuchen nur sehr ungenügende Resultate gegeben; er gab zu häufigen Unfällen und zu eben so häufigen Reparaturen Veranlassung. Er erfordert eine lange Zeit, um in Betrieb gesetzt werden zu können, und bis die Gase entzündet sind, entwickelt sich eine große Rauchmenge. Die mittlere Dampfproduction durch 1 Kilogr. Steinkohlen scheint 7,75 Kilogr. betragen zu haben.

Die Verwandlung der Brennmaterialien in Gase ist ein vortreffliches Verfahren, wenn es sich um Hervorbringung hoher Temperaturen handelt, oder wenn man die Wärme auf Entfernungen fortleiten, oder wenn man nach Belieben oxydirende und reducirende Flammen haben will, wie bei den im Hüttenwesen angewendeten Oefen. Wenn aber nur Dampf erzeugt oder ein Ofen mit mittlerer Temperatur gefeuert werden soll, so erscheint uns diese Verwandlung zu verwickelt. Der Gasgenerator ist ein erster Kessel, der wegen seiner Form und wegen seines geringen Wasservolums die größte Sorgfalt erfordert. Bei der von Beaufumé angenommenen Einrichtung läßt sich der Rost nur schwierig reinigen, und man kann nur ausgewähltes Brennmaterial verbrennen. Außerdem veranlassen die Dampfmaschinen und der Ventilator hohe Anlagekosten.

735. Der Apparat von Molinos und Pronnier. — Der fragliche Apparat ist jetzt in mehreren französischen Fabriken aufgestellt und sein Betrieb ist bekannt. Es ist derselbe in den Figuren 147 und 147 bis im senkrechten Längen- und Querdurchschnitt dargestellt; er besteht aus einem Feuerkasten F wie bei den Locomotiven, dessen Rost aber von der Röhrenplatte durch eine Ziegelsteinmauer A, die als Feuerbrücke dient, und durch einen Raum B, dessen Zweck wir weiter unten erklären wollen, getrennt ist. Der cylindrische Körper N ist vollständig mit den Röhren D D ausgefüllt. Die Dampfkammer ist über dem Feuerkasten angebracht und zwar so, daß der cylindrische Theil stets voll Wasser ist. Diese Dampfkammer besteht aus einem blechernen Cylinder M, mit welchem die Wände des Feuerkastens in senkrechter Verbindung stehen, wie die Fig. 147 bis zeigt; er ist mit Löchern o, o, o versehen, welche dem in den Seitenwänden des Kastens gebildeten Dampfe gestatten, sich in den Behälter zu begeben. Durch diese Einrichtung können die Stehbolzen der Decke von dem Feuerkasten weggelassen werden. Der Rost ist 0,45 M. von der Feuerthür angebracht, und unter derselben befindet sich ein Aschenkasten C, der luftdicht verschlossen werden kann. Die beiden Seitenwände des Feuerkastens sind mit einer doppelten Reihe von Röhren T T versehen und auf den äußeren Oeffnungen dieser Röhren bewegt sich ein Register, bestehend aus einer Platte mit Löchern, die den Röhren entsprechen und mit Hülfe deren man, indem man sie mehr oder weniger verschiebt, die Oeffnungen der Röhren reguliren, oder sie selbst gänzlich verschließen kann. Es sind diese Röhren von Büchsen umschlossen, die an den Kesselwänden angebracht sind und durch welche Wind aus einem Ventilator durch die Röhre b b eingeblasen wird. Eine andere mit einem Register versehene Röhre a führt den Wind aus dem Ventilator unter den Rost. Die aus den Röhren einströmenden Gase vereinigen sich in dem Rauchkasten G und strömen durch die Röhre H in eine

Esse, die nur zu ihrer Entwickelung dient und die daher nur eine geringe Höhe haben kann. Der Zweck dieser Einrichtungen ist folgender:

Die Steinkohlen werden in einer ungefähr 0,45 M. dicken Schicht so auf den Rost gebracht, daß ihre Oberfläche fast der ersten Reihe der an der Seite angebrachten Röhren entspricht. Die durch den Ventilator eingeblasene Luft geht durch diese Brennmaterialschicht, wird vollständig verbrannt und in Kohlenoxyd und Kohlensäure verwandelt. An der Oberfläche des Brennmateriales selbst treffen diese Gase Luftstrahlen, die eine sehr große Geschwindigkeit haben und sie in einer senkrechten Richtung durchschneiden, so daß sich ein Wirbel bildet, dessen Resultat es ist, eine genaue Vermengung der Gase hervorzubringen und ihre Verbrennung zu begünstigen. Diese Verbrennung des Kohlenoxydes erfolgt wirklich, da alle günstigen Umstände sich vereinigt finden, d. h. die nöthige Sauerstoffmenge, eine genaue Vermengung und eine hinreichende Temperatur. Die entzündeten Gase strömen hierauf über die Brücke und gehen in den Raum B nieder, um in die Röhren zu gelangen. Es ist daher unmöglich, daß dem Ofen ein einziger unverbrannter Gasstrahl entgehen kann und außerdem ist die Verbrennung gänzlich beendigt, ehe die Gase in die Röhren dringen, d. h. ehe sie in Berührung mit einem verhältnißmäßig kalten Körper kommen, der diese Verbrennung nothwendig aufhalten muß, selbst wenn alle anderen Umstände der Vermengung und des Luftverhältnisses zu ihrer Begünstigung geeignet wären. Die Vortheile, welche man aus den hier besprochenen Elementen ziehen zu können geglaubt hat, sind sehr zahlreich und wichtig. Die Versuche, deren Resultate wir weiter unten mittheilen werden, haben sie auf eine unwiderlegbare Weise festgestellt und wir wollen sie jetzt erwähnen.

1) Die Verbrennung in diesem Kessel ist vollständig in der chemischen Bedeutung dieses Wortes, d. h. daß das Brennmaterial gänzlich verbrannt werden muß, daß die Gase zur höchsten Oxydation gelangen, ohne daß ein Ueberschuß des Sauerstoffes stattfindet, d. h. daß die Verbrennungsproducte fast gänzlich aus Wasser, Kohlensäure und Stickstoff bestehen müssen. Kurz, die Einrichtung gestattet, unter den Rost eine solche Luftmenge einzuführen, daß zu Gunsten der Brennmaterialschicht der Sauerstoff vollständig in Kohlenoxyd verwandelt worden ist; es kann daher hier keine überschüssige Luft, wie bei den gewöhnlich enRosten, zugelassen werden. Andererseits ist in Folge der Einführung einer Luftmenge, die man nach Belieben reguliren kann, über den Rost zur genauen Vermengung der Gase und ihrer Temperatur die Verbrennung vollständig. Dadurch muß eine sehr wesentliche Brennmaterialersparung erlangt werden.

2) Die Windpressung bewirkt, außer daß sie zur genauen Verbindung und folglich zur Einführung der geringsten Luftmenge unerläßlich ist, auch eine Localisirung der Verbrennung, d. h. sie erleichtert wesentlich die beschriebenen Arbeiten und veranlaßt die Verbrennung des größten Theiles von den Gasen in den Umgebnngen der Brennmaterialoberfläche, in welcher die Temperatur folglichsehr houch ist. Daraus gehen zwei Vortheile hervor: 1) die Mögichkeit, auf das Quadratdecimeter des Rostes eine weit bedeutendere Steinkohlenmenge zu verbrennen, als auf den gewöhnlichen Rosten; folglich bei gleicher Heizoberfläche eine weit größere Menge Dampf zu produciren. 2) Eine bessere Benutzung dieser Heizoberfläche, da in Folge der Localisation der Temperatur die Gase mehr Zeit zu ihrer Erkaltung

haben und auch, in Folge ihrer größern Temperaturdifferenz mit dem zu erhitzenden Körper, schnell erkalten. Diese letztere Bedingung gestattet die wohlfeilere Production einer weit größern Dampfmenge auf das Quadratmeter der Heizoberfläche, und dies ist ein sehr bemerkenswerther Punkt, vorausgesetzt, daß diese beiden Bedingungen unvereinbar sind.

3) Die Folge der sehr vollständigen Verbrennung in dem Ofen ist offenbar die gänzliche Unterdrückung des Rauches, sowohl des sichtbaren, als des unsichtbaren, d. h. aller Gase, die rußige Stoffe oder solche, die nicht ihre höchste Oxydation erlangt haben, mit sich führen. Es kommt übrigens vor, daß der Einfluß des Einschürens auf die Rauchproduction gar nicht vorhanden ist, welches daher rührt, daß in Beziehung auf die in Verbrennung befindlichen stets nur wenig Steinkohlen eingeführt werden.

Bei sämmtlichen Versuchen hat man fast immer nachstehende, sehr mit einander in Uebereinstimmung stehende Resultate erlangt: Dampfproduction durch 1 Kilogr. Steinkohlen 10 Kilogr.; Dampfproduction auf das Quadratmeter der Heizoberfläche 35 Kilogr. Diese mit einem zu Paris versuchten Apparate erlangten Resultate sind auch noch mit anderen dergleichen an anderen Orten erreicht.

Die gegen den Apparat zu machenden Einwürfe bestehen zuvörderst darin, daß der Dampf feuchter sein könnte, als der in gewöhnlichen Kesseln erzeugte. Die darüber angestellten speciellen Versuche, z. B. in der Pariser Tabaksmanufactur, haben aber gezeigt, daß die vom Dampf mitgeführte Wassermenge nur sehr gering war.

Ein zweiter Einwurf könnte den Ventilator treffen, allein jetzt, wo die kleinen besonderen und wohlfeilen Maschinen sich überall verbreitet haben, ist es unmöglich, daß die Vorurtheile gegen die Benutzung der Ventilatoren in den Gewerben nicht gänzlich verschwinden müßten. Um sich davon zu überzeugen, muß man nur bedenken, daß die Einrichtung eines von einem kleinen Dampfpferde bewegten Ventilators weit weniger kostet, als die Errichtung einer Esse; daß das Verhältniß des Nutzeffectes eines Ventilators zu einer Esse wenigstens 25 zu 1 ist, und endlich, daß das so unangenehme Geräusch der Ventilatoren gänzlich unterdrückt werden kann.

Bei den Locomotiven scheint die Anwendung dieses Systems sehr wesentliche Vortheile zu gewähren. Man kann, ohne eine von den neueren Verbesserungen wesentlich zu verändern, z. B. die Heizoberfläche in dem Verhältniß von 2 zu 3 vermehren und durch erleichterte Anwendung der Steinkohlen eine wesentliche Brennmaterialersparung veranlassen.

Auf Dampfschiffen endlich, wo eine Ersparung des Gewichtes, des Platzes und des Brennmaterials eine Hauptfrage ist, muß die Benutzung von Kesseln, die mit 1 Kilogr. Steinkohle 10 Kilogr. Dampf und auf 1 Q.-Meter Heizoberfläche 35 Kilogr. erzeugen, eine sehr wesentliche Verbesserung sein.

736. Die Vortheile, die der fragliche Apparat gewährt, können nicht zweifelhaft sein, allein man kann in dem Ofen wenig backende oder magere Steinkohlen verbrennen. Außerdem erfordert der Röhrenkessel nothwendig reine Speisewasser, die nur wenig Kesselstein ansetzen, indem die Wegnahme desselben große Schwierigkeiten hat, wie wir weiter unten bei den Dampfgeneratoren sehen werden.

737. Der Apparat von Prunier. — Bei diesem Apparate ist der Versuch gemacht, den Rauch dadurch zu verbrennen, daß man hinter

dem Roste eine senkrechte Mauer von Bimstein anbringt, welche die Gase durchströmen müssen. Bimsteinstücke von 4 bis 5 Centimeter Durchmesser wurden zwischen zwei Ziegelsteinmauern, die 0,40 M. von einander entfernt waren, festgehalten. In den ersten Augenblicken nach dem ersten Anfeuern des Ofens entwickelte sich etwas Rauch und eine sehr große Menge setzte sich auf den Bimstein ab, dieser aber wurde bald rothglühend, der Rauch hörte alsdann ganz auf und der darauf niedergeschlagene wurde verbrannt. Der Nutzeffect des Brennmaterials wurde dadurch wesentlich erhöht, allein der Bimstein nutzte sich sehr bald ab. Es werden jetzt neue Versuche angestellt, bei denen der Bimstein mit sehr durchlöcherten Ziegelsteinen, die man auf die hohe Kante stellt, ersetzt wird; man kann aber auch massive Ziegelsteine anwenden, die auf solche Weise angebracht werden, daß der verbrannte Luftstrom mehrmals auf und nieder gehen muß, indem er im Zusammenhange bleibt.

738. Der Verfasser hält es für sehr wahrscheinlich, daß man auf diese Weise dahin gelangen wird, den Rauch vollständig zu verbrennen, wenigstens wenn die Mauern rothglühend werden, weil die Richtungsveränderungen der verbrannten Luft ein Gemenge von nicht veränderter Luft und brennbaren Gasen hervorbringen werden und weil die Temperatur hoch genug ist, um die Verbrennung zu bewirken. Durch die Unterdrückung der directen Strahlung des Ofens auf den Theil des über ihm liegenden Kessels findet kein Verlust statt, weil diese Strahlung durch die der senkrechten Mauer ersetzt werden wird. Indem man nun endlich dem Querschnitt des senkrechten Stromes, der seine Richtung verändert, eine größere Oberfläche giebt, als die der Esse ist, könnte man den Widerstand in der Art vermindern, daß er keinen wesentlichen Einfluß auf den Zug hat. Wenn z. B. der Querschnitt doppelt wäre und wenn vier Richtungsveränderungen stattfänden, so würde der Druckverlust, wenn die Reibung unberücksichtigt bleibt, gleich 0,4 von dem entsprechenden Drucke der Geschwindigkeit sein. Der einzige Nachtheil dieser Vorrichtung würde darin bestehen, daß die Ziegelsteinmauer, welche durch die Wärme leicht zerstört werden würde, häufig ausgewechselt werden müßte; aber der Ofen könnte eine solche Einrichtung erhalten, daß diese Auswechselung sich leicht bewirken lassen könnte, und die Kosten dafür würden nur gering sein.

Viertes Capitel.

Allgemeine Betrachtungen über die Oefen.

739. Wir wollen uns zuvörderst mit den gewöhnlichen Kesselöfen beschäftigen, mit denen, deren Rost fast horizontal ist und die unterbrochen geschürt werden. Die hierbei vorkommenden Erscheinungen sind sehr verwickelt und für einen und denselben Apparat kann man dieselbe Menge eines und desselben Brennmateriales auf sehr verschiedenen Rostoberflächen und mit sehr verschiedenen Brennmaterialdicken verbrennen, allein man erzeugt auch sehr verschiedenartige Nutzeffecte.

Wir wollen z. B. annehmen, daß für einen gewissen Rost und für eine gewisse Brennmaterialdicke die Hälfte der Luft ohne Veränderung entweiche; vermehrt man die Dicke der Brennmaterialschicht, so nimmt der Widerstand im Ofen zu, eine geringere Luftmenge strömt durch den Ofen und eine geringere Menge entgeht der Verbrennung. Die Temperatur des Ofens und der Gase steigt und der Nutzeffect wird viel bedeutender. Ueber eine gewisse Dicke der Brennmaterialschicht hinaus wird sich Kohlenoxyd bilden; der Brennmaterialverbrauch könnte derselbe bleiben, allein der Nutzeffect würde sich vermindern; der Brennmaterialverbrauch würde nur dann geringer sein, wenn die angesaugte Luftmenge um $^1/_4$ von der, die sie her war, vermindert würde. Wenn man dagegen die Brennmaterialschicht schwächer machte, so würde der Widerstand des Ofens ebenfalls abnehmen, es würde mehr Luft in gleichen Zeiträumen durch das Brennmaterial strömen, ein größerer Theil würde ohne Veränderung entweichen, der Brennmaterialverbrauch könnte derselbe sein, allein der Nutzeffect müßte nothwendig abnehmen. Ganz gleiche Erscheinungen entstehen durch die Verminderung oder Vermehrung der Rostoberfläche, während die Dicke der Brennmaterialschicht dieselbe bleibt. Man kann daher bei einem und demselben Apparate die Rostoberfläche und die Brennmaterialschicht in sehr ausgedehnten Grenzen ändern, ohne die Mengen des verbrauchten Brennmaterials wesentlich zu verändern, sondern indem man sehr verschiedene Nutzeffecte veranlaßt. Wir müssen auch noch hinzufügen, daß der Einfluß der Dicke der Brennmaterialschicht mit der Beschaffenheit und der Größe der angewendeten Brennmaterialstücke verschieden ist.

740. Es folgt offenbar aus dem Gesagten, daß die wichtige zu erfüllende Bedingung in der Anwendung solcher Rostoberflächen und Brennmaterialdicken besteht, daß die ganze Sauerstoffmenge der Luft in Kohlensäure verwandelt wird. Diese Verwandlung kann mit Brennmaterialien, die ohne Flamme verbrennen, wie Holzkohlen, Cokes, mageren Steinkohlen und Anthracit, ausgeführt werden, vorausgesetzt, daß die von dem Ofen hervorzubringende Wirkung constant und seine Temperatur sehr hoch ist. Man begreift leicht, daß man durch Luftanalysen oder nur durch Beobachtung der producirten Nutzeffecte bei verschiedenen Dicken der Brennmaterialschichten zur Bestimmung der zweckmäßigsten Brennmaterialdicke gelangen könnte. Man könnte jedoch fürchten, daß in Folge der Ungleichheit der Brennmaterialstücke und der unvermeidlichen Verschiedenheit in der Dicke der Schichten und weil die Wege an gewissen Punkten länger sind, sich kein Kohlenoxyd bilden könnte und daß andererseits die einen gewissen Widerstand darbietenden Theile keinen freien Sauerstoff hindurchströmen lassen. Diese Verwandlung könnte selbst annähernd mit flammenden Brennmaterialien nicht ausgeführt werden, weil die Verbrennung der Gase es nothwendig erfordert, daß die den Rost durchströmende Luft noch eine gewisse Sauerstoffmenge enthalte, und da das Volum zwischen den Schürungen der sich entwickelnden brennbaren Gase sehr veränderlich ist, so mußten sie, wenn die Luftvolumina im Anfange hinreichend waren, später zu bedeutend sein, und um so mehr, wenn der Ofen in dem Maaße, wie die Verbrennung vorschritt, einen geringern Widerstand darbot. Die hindurchströmende Luftmenge nimmt aber in den Zwischenräumen der Schürungen stets zu, wie die Versuche von C o m b e s dargethan haben; es sollte aber das Gegentheil stattfinden.

741. Man hat lange Zeit geglaubt, daß das Kohlenoxyd sich sehr leicht in den Oefen durch eine geringe Zunahme der Dicke der Brennmaterialschicht bilde; allein directe Versuche haben die in dieser Beziehung irrigen Begriffe gänzlich verändert.

In den Puddel- und Schweißöfen, in denen die Dicke der Steinkohlenschicht von 0,20 bis 0,25 M. wechselt und in denen der Verbrauch auf das Quadratdecimeter etwa 1,5 Kilogr. ist, enthalten die aus der Esse entweichenden Gase nach den Analysen des Herrn Ebelmen von 0,07 bis 0,08 nicht veränderte Luft und ganz unwesentliche Mengen von brennbaren Gasen. In denselben Oefen, bei denen das Schürloch durch Steinkohlen verschlossen ist, die man nach und nach auf den Rost stößt, der mit 0,20 bis 0,30 M. dickem Brennmaterial bedeckt ist, entwickelt sich nicht wesentlich viel Kohlenoxyd, sondern nur etwas Kohlenwasserstoff; die der Verbrennung entgehende Luftmenge beträgt höchstens 0,05 und die Temperatur des Ofens etwa 1800°. Der Mangel an Kohlenoxyd kann durch das Ansehen der aus der Esse entweichenden Flamme erkannt werden, indem sie keine blaue Färbung hat, welche die Verbrennung dieses Gases charakterisirt.

Nach vielen Versuchen von Thomas und Laurens war die Meinung ausgesprochen, daß in einem Ofen mit einer Cokesschicht von 0,30 bis 0,50 M. sich nur bei einer langsamen Verbrennung Kohlenoxyd bilde, oder vielmehr, wenn diese mit Hülfe von Formen durch Einblasen der Luft und nicht durch den Zug einer Esse hervorgebracht werde; in gewöhnlichen Oefen mit Steinkohlenschichten von 0,15 bis 0,25 M. Dicke soll sich nach der Annahme dieser Ingenieure kein Kohlenoxyd erzeugen.

In den Stahlschmelzöfen, in denen die Temperatur außerordentlich hoch ist, würde man offenbar diesen Temperaturgrad nicht erlangen, wenn sich eine wesentliche Kohlenoxydmenge bildete oder wenn sich eine wesentliche nicht veränderte Luftmenge entwickelte. In diesen Oefen ist die Dicke der Brennmaterialschicht und die Lebhaftigkeit der Verbrennung von der Art, daß man fast das Maximum der Verbrennung erhält.

742. Der Einfluß einer lebhaften Verbrennung auf die Kohlenoxydbildung ist neuerlich Gegenstand von Versuchen gewesen, die in der Tabaksmanufactur des Staates zu Paris angestellt worden sind. Der zu diesen Versuchen angewendete Ofen hatte eine länglich viereckige Figur, bestand aus Ziegelsteinen, war 0,55 M. hoch, der Rost betrug 0,30 bis 0,35 M. In einer Höhe von 0,35 M. über dem Rost ging eine Porzellanröhre quer durch den Ofen, die den Zweck hatte, die von der Verbrennung herrührenden Gase aufzunehmen und sie zu analysiren. Der Ofen war aber durch eine horizontale Blechplatte verschlossen, die mit einer Oeffnung von 0,15 Meter versehen war; die Aschenfallthür hatte eine Oeffnung, deren Querschnitt man nach Belieben verändern konnte, um die Verbrennung mehr oder weniger lebhaft zu machen. Das Verfahren bei diesen Versuchen war folgendes: sobald die Cokes glühend waren, füllte man den Ofen bis zur Höhe der Porzellanröhre, die als Ausgangspunkt diente, damit an. Man bemerkte die Stunde, wog eine gewisse Cokesmenge ab und gab der Aschenfallöffnung eine zweckmäßige Weite. Von Stunde zu Stunde reinigte man den Rost und schürte Brennmaterial ein; zu einer gewissen Zeit entleerte man den Ofen, bemerkte die Stunde und wog das nicht benutzte Brennmaterial. Man bestimmte auf diese Weise die Menge der in einer Stunde auf einem Roste von gewisser Dimension

verbrannten Cokesmenge und konnte daraus leicht diejenige ableiten, die auf das Quadratdecimeter und in der Stunde verbraucht worden war. Die Gase wurden vor und nach dem Stören auf dem Rost angesammelt. Man erhielt bei diesen Versuchen die folgenden Resultate.

Bei einer Verbrennung von 0,092 Kilogr. auf das Quadratdecimeter und in der Stunde und bei einer Dicke der Cokesschicht von 0,35 M. entwickelte sich kein Kohlenoxyd und das der Verbrennung entgehende Luftvolum betrug nur 0,017 vor, und 0,019 nach dem Stören.

Bei einer Verbrennung von 0,017 auf das Quadratdecimeter und auf die Stunde und bei derselben Brennmaterialmenge haben sich 0,07 Kohlenoxyd vor, und nur 0,04 nach dem Stören gebildet.

Endlich bei einem Verbrauch von 0,34 Kilogr. war die Verbrennung sehr lebhaft, die Cokes waren stark rothglühend, eine blaue Flamme erhob sich fortwährend über dem Ofen und die Kohlenoxydmengen vor und nach dem Stören betrugen 0,09 und 0,07.

Eben so bildet sich bei einer Dicke von 0,35 M. der Cokesschicht nicht eher Kohlenoxyd, als wenn der Verbrauch auf das Quadratmeter und auf die Stunde 0,17 Kilogr. erreicht, und dieses Gas nimmt mit dem Brennmaterialverbrauch zu.

Diese Versuche stimmen weder mit den Versuchen von Thomas und Laurens, noch mit den bei der Stahl- nnd Eisenfabrikation gemachten überein. Dies rührt ohne Zweifel davon her, daß dieser Versuchsofen ganz besondere Verhältnisse des Zuges hatte. Außerdem hat der Brennmaterialverbrauch des Rostes und in der Stunde nur innerhalb sehr geringer Grenzen geschwankt und ist stets unter dem mittlern Verbrauch in gewöhnlichen Oefen geblieben. Man kann daher aus diesen Versuchen keine Folgerungen machen.

743. Auf der Eisenbahn von Paris nach Chartres sind mit einer Güterzug-Locomotive zahlreiche Versuche über die Zusammensetzung der verbrannten Luft während des Stillstandes der Maschine und bei verschiedenen Geschwindigkeiten gemacht worden; die Gase wurden aus einer der Röhren mittelst eines Aspirators in Flaschen aufgefangen.

Diese unter der Leitung von Herrn Lucca analysirten Gase haben folgende Resultate gegeben:

		Geschwindigkeit in der Stunde.		
	Ruhe.	18 Kil.	40 Kil.	50 Kil.*
Kohlensäure	11,15	14,20	17,05	17,45
Kohlenoxyd	7,24	4,95	2,10	1,80
Wasserstoff	1,35	0,15	0,05	0,40
Sauerstoff	4,20	4,45	1,95	2,70
Stickstoff	74,00	76,40	78,80	77,65
Kohlen-Wasserstoff-Verbindungen	2,08	0,05	0,05	0,00

Bei den mittleren Geschwindigkeiten der Güterzüge zwischen 20 und 25 Kilometer in der Stunde ist das Verhältniß der Kohlensäure fast das von 15, während das des Kohlenoxydes zwischen 4 und 5 schwankt.

Nach diesen Versuchen ist die Verbrennung vollständiger, je größer die Geschwindigkeit ist; allein es geht dieses Gesetz nur bis zu einer Geschwindigkeit von 50 Kilometer; bei größeren Geschwindigkeiten nimmt das Ver-

hältniß des Kohlenoxydes zu. Bei einer Geschwindigkeit von 65 Kilometer geht das Verhältniß der Kohlensäure bis auf 16,50 hinab und das des Kohlenoxydes steigt bis auf 2,46.

Nach diesen Versuchen ist es wahrscheinlich, daß die Bildung des Kohlenoxydes nicht allein von der Dicke der Brennmaterialschicht und von der Lebhaftigkeit der Verbrennung, sondern auch von der Dicke der Stücke, von der Temperatur des Ofens und der ihn umfassenden Mauer abhängt.

744. Holzkohlen geben unter gleichen Umständen weit leichter Kohlenoxyd als Cokes, und aus diesem Grunde läßt es sich daher erklären, daß zum Umschmelzen einer und derselben Roheisenmenge in Cupolöfen mehr Holzkohlen als Cokes erforderlich sind. In den Hohöfen findet das Entgegengesetzte statt, indem man mehr Holzkohlen als Cokes bedarf. Die Erscheinungen sind aber sehr verschieden; es giebt chemische Wirkungen, bei denen die Leichtigkeit, mit welcher das Brennmaterial sich zuvörderst in Kohlensäure und alsdann in Kohlenoxyd verwandelt, eine große Rolle spielen.

745. Die Temperatur der Oefen. — Wenn ein Ofen von allen Seiten mit dickem Mauerwerk in der Art umgeben ist, daß durch die Strahlung und die inneren Wände ein geringer Brennmaterialverlust stattfindet, so werden die Oberfläche des Brennmateriales und die innere Oberfläche der Mauer wesentlich gleiche Temperatur haben, und zwar eben so wie der warme Luftstrom. Es wird alsdann die gemeinschaftliche Temperatur unter den von uns angegebenen Umständen die von uns 222 berechnete sein. Wenn für einen Ofen mit Steinkohlen oder Cokesfeuerung die Gesammtheit des Sauerstoffes der Luft in Kohlensäure verwandelt worden wäre, so würde die Temperatur fast 2700° betragen; wenn die Hälfte des Sauerstoffes entginge, so würde diese Temperatur nur etwa 1200° sein. Wäre die Menge der angesaugten Luft bedeutender, so würde sich die Temperatur fast verhältnißmäßig vermindern. Es würden aber diese berechneten Temperaturen durch die Erkaltung der äußern Oberfläche des Heerdes und durch seine Ausstrahlung in die Oeffnung der Gasentwickeluug etwas vermindert werden.

746. Wenn der Ofen eine Umgebung mit einer constanten Temperatur hätte, was bei allen inneren Dampf-Generatorheerden der Fall ist, so würde die Temperatur dieses Heerdes durch die Ausstrahlung gegen die Wände wesentlich vermindert werden, da die strahlende Wärme nur zum Theil ersetzt werden könnte. In allen Fällen aber müßten die aus dem Ofen ausströmenden Gase wesentlich dessen Temperatur haben.

747. Um eine annähernde Werthbestimmung des Ofens und der Gase zu erhalten, wollen wir annehmen, daß das Strahlungsvermögen der Kohle dasselbe sei, wie das der dunklen Körper, und wollen mit R die Wärmemenge bezeichnen, die auf das Quadratmeter und in der Stunde sich entwickelt hat; wir werden alsdann haben (701):

$$R = ma^{\theta}\left(a^{t} - 1\right); \quad m = 124{,}72K; \quad K = 3{,}6; \quad \text{und } a = 1{,}0077;$$

wobei t der Ueberschuß der Temperatur des Ofens über die Umgebung und Θ die der letztern. Nimmt man Θ = 150° an und nach und nach für t

500°	600°	700°	800°	900°	1000°

so findet man für R

19408	43371	95013	226190	445500	962100

und auf das Quadratdecimeter

194	434	950	2262	4455	9621 . . . (a)

Es werden demnach die Mengen der strahlenden Wärme nach einem sehr schnell zunehmenden Gesetze mit der Temperatur steigen; denn sie werden für die Temperaturüberschüsse, die von 850 bis 350, d. h. von 2,4 zu 1 schwanken, fast in dem Verhältniß von 48 zu 1 verschieden sein.

Wenn die Rostoberfläche eine solche wäre, daß jedes Quadratdecimeter einem Brennmaterialverbrauch von 1 Kilogr. in der Stunde entspräche und wenn der gesammte Sauerstoff der Luft angewendet würde, so würde das Gewicht der Luft fast 11 Kilogr. und die Temperatur, welche diese Luft, indem sie durch den Heerd strömt, annimmt, 2700° betragen; allein die Strahlung würde sowohl die Temperatur des Ofens, als auch die der Luft vermindern, und diese Verminderung würde eine solche sein, daß die in der Luft bleibende Wärmemenge, vermehrt durch die ausgestrahlte, den Wärmeeffect des Brennmateriales bilden müßte. Nimmt man an, und diese Annahme dürfte sich von der Wirklichkeit wenig entfernen, daß die Luft die Temperatur der Heerdoberfläche hat, so wird es leicht sein, durch Versuche einen annähernden Werth dieser Temperatur zu finden. In dem vorliegenden Falle würde die Temperatur der Brennmaterialoberfläche unter 1000° sein, denn für diese Temperatur würde die Menge der strahlenden Wärme bei Weitem bedeutender sein, als die producirte Wärmemenge. Nimmt man an, daß die Temperatur des Heerdes 900° betrage, so würde die strahlende Wärme 4455° und die in der Luft bleibende $\frac{900 \cdot 11}{4} = 2475°$, die gesammte Summe daher 6930° unter dem Wärmeeffect des Brennmateriales sein. Es würde daher die Temperatur des Heerdes über 900° betragen; sie würde sich wenig von 910° entfernen und die strahlende Wärme würde fast das Doppelte der von der Luft hinweggeführten sein.

Nimmt man an, daß der Sauerstoff der Luft stets gänzlich absorbirt werde und daß der Rost eine doppelte Oberfläche habe, d. h. daß man nur 0,5 Kilogr. Steinkohlen auf das Quadratdecimeter und in der Stunde verbrenne, so würde das Gewicht der den Rost durchströmenden Luft 5,5 Kilogr. sein, und indem man dieselbe Voraussetzung wie weiter oben macht, so findet man, daß die gemeinschaftliche Wärme des Ofens und der Luft fast 832° ist. Die von der Luft mit hinweggeführte Wärme wird 1144 Einheiten und die ausgestrahlte 2977 betragen; es ist daher die strahlende Wärme 2,6 mal größer, als die von der warmen Luft hinweggeführte.

Wenn man stets unter denselben Verhältnissen einer vollständigen Absorption des Sauerstoffes der Luft annähme, daß man 0,1 Kilogr. Steinkohle auf das Quadratdecimeter und in der Stunde verbrennt, so würde das Gewicht der in der Stunde durch das Quadratdecimeter der Rostoberfläche

strömenden Luft 1,1 Kilogr. betragen. Die Wärmemenge auf das Quadratdecimeter und in der Stunde würde 800 sein; die gemeinschaftliche Temperatur würde fast 650° erreichen. Die ausgestrahlten und mit weggerissenen Wärmemengen würden 622 und 178 sein, Größen, deren Verhältniß gleich 30,49 ist. In dem Maaße, als daher die Rostoberfläche zunimmt, vermindert sich die Temperatur des Ofens und die der Luft und die gesammte strahlende Wärme nimmt eben so zu, wie das Verhältniß dieser Wärme zu der von der Luft mit weggeführten. Anders verhält es sich aber, wenn eine gewisse Luftmenge der Verbrennung entgeht.

Nimmt man an, daß eine doppelte Luftmenge von der zur Verbrennung erforderlichen angesaugt sei, und eine Verbrennung von 1 Kilogr. Steinkohlen auf das Quadratdecimeter des Rostes, so würde die Gewichtsmenge der Luft, welche jedes Quadratdecimeter desselben in der Stunde durchströmt, 22 Kilogr. sein; die Menge der producirten Luft würde 8000, die gemeinschaftliche Temperatur des Heerdes und der Luft 800° sein; die von der Luft mit weggenommene Wärmemenge 4675 und die ausgestrahlte nur 3358. Das Verhältniß der ersten Zahl zur zweiten ist 1,39.

Nimmt man bei übrigens gleichen Verhältnissen einen Verbrauch von 0,5 Kilogr. auf das Quadratdecimeter des Rostes an, so wird das Gewicht der diese Oberfläche in der Stunde durchströmenden Luft 11 Kilogr. betragen. Die producirte Wärmemenge ist 4000; die gemeinschaftliche Temperatur der Luft und des Ofens 770°; die von dem Luftstrom mit weggeführte Wärmemenge wird fast 2117 betragen, die Menge der strahlenden Wärme 1800. Das Verhältniß der ersten zur zweiten Zahl ist 1,17.

Nimmt man endlich unter denselben Umständen einen Verbrauch von 0,1 Kilogr. an, so würde das Gewicht der den Rost durchströmenden Luft 2,2 Kilogr. betragen. Die producirte Wärmemenge würde alsdann 800, die gemeinschaftliche Temperatur der Luft und des Ofens 610, die von der Luft und der Strahlung absorbirten Wärmemengen 335 und 465 sein. Das Verhältniß der ersten zur zweiten Zahl ist 0,72.

Nimmt man an, daß in dem Ofen eine doppelte Luftmenge als erforderlich einströmt, in dem Maaße, als die Rostoberfläche bei gleichem Brennmaterialverbrauch zunimmt, so wird sich die Temperatur des Ofens vermindern und es wird die von der Luft weggeführte, zuvörderst größere als die strahlende Wärme damit endigen kleiner zu sein.

Wir haben angenommen, daß die Temperatur des Mauerwerkes 150° betrage; wäre sie niedriger, so würde der Verlust durch die Strahlung größer sein und der durch die Wegführung der Gase veranlaßte kleiner. Wäre diese Temperatur höher, so würde diese Strahlung geringer und sie würde Null werden, wenn die Temperatur der Mauer gleich der des Ofens wäre.

748. Wir wollen zwei äußerste Fälle annehmen: den, wobei das Mauerwerk keine Wärme verliert und folglich die Temperatur des Ofens annimmt, und den, wobei das Mauerwerk eine constante, und im Verhältniß zu der des Ofens sehr geringe Temperatur besitzt. Wir wollen zuvörderst annehmen, daß der Ofen wie in dem ersten Fall eingerichtet sei, daß er aber Körper enthalte, welche die Wärme absorbiren und deren Temperatur constant sei; dies ist bei allen außerhalb angebrachten Generatoröfen, sowie bei allen zur Erhitzung von Flüssigkeiten dienenden Oefen der Fall.

Es ist nach dem Vorhergehenden ganz klar, daß nur ein Theil der Wärme des strahlenden Brennmateriales absorbirt sein wird, und diese Menge wird von der Oberflächenausdehnung des Körpers im Verhältniß zur Rostoberfläche, von der auf das Quadratdecimeter der Rostoberfläche verbrannten Brennmaterialmenge und von der Temperatur des Körpers abhängen. Alsdann wird die Temperatur des Ofens die mittlere von der sein, welche für die beiden vorhin erwähnten äußersten Fälle gefunden worden ist.

749. Man ersieht aus alle dem Gesagten, daß bei inneren Heerden, deren Zug durch eine Esse hervorgebracht worden ist, bei denen man fast 1 Kilogr. Steinkohle auf das Quadratdecimeter verbrennt, und wobei das Volum der angewendeten Luft gleich dem ein- oder zweifachen von der zur Verbrennung nothwendigen ist, die Temperatur 800° wenig übersteigt. In den außerhalb angebrachten Oefen, bei denen die Sieberöhren und die Kessel einen großen Theil von den Umgebungen des Rostes bilden, muß die Temperatur wenig verschieden, jedoch höher sein.

750. Der Verfasser kennt nur einen einzigen Versuch über die Temperatur der Oefen; er bestand darin, daß man sehr schnell ein gewisses Volum von Steinkohlen, die größtentheils in Cokes verwandelt worden waren, in ein bekanntes Gewicht von Wasser warf, dessen Temperatur man kannte. Der Ofen war ein außerhalb des Kessels mit Sieberöhren angebrachter; das Gewicht des Wassers betrug 120 Kilogr., seine Temperatur 7°; das nach dem Prozeß, nachdem man alles Wasser durch ein zehnstündiges Trocknen in einer über 100° betragenden Temperatur daraus entfernt hatte, betrug 24 Kilogr.; die Temperatur des Wassers war von 7 auf 37° gebracht. Da die Wärmecapacität der Cokes 0,2 war, so wurde die gesuchte Temperatur durch die Gleichung gegeben:

$$24 \cdot 0{,}2\ (t - 37) = 120 \cdot (37 - 7);\ \text{daher}\ t = 723.$$

Man kann aber aus diesem Versuche kein bestimmtes Resultat ableiten, weil man weder die Menge der auf das Quadratdecimeter des Rostes und in der Stunde verbrannten Kohlen, noch die überschüssige Luftmenge kannte, die durch den Ofen strömte. Jedoch scheinen dadurch die durch die Berechnung gefundenen Zahlen bestätigt zu werden.

751. **Vergleichung der großen und der kleinen Roste.** — Die Meinungen der Sachverständigen sind über die Vortheile und Nachtheile der großen und kleinen Heerde, d. h. über die mit langsamer und mit lebhafter, sehr getheilt. Viele Ingenieure scheinen den großen Rosten den Vorzug zu geben. Nach Wicksteed hat man in einem cylindrischen Kessel mit innerem Heerde, auf welchem man 0,228 Kilogr. Steinkohlen auf das Quadratdecimeter Rostoberfläche verbrannte, mit 1 Kilogr. Steinkohle 8,524 Kilogr. Dampf erzeugt. Nachdem der Brennmaterialverbrauch auf 0,127 Kilogr. auf das Quadratdecimeter Rost vermindert worden war, betrug die erzeugte Dampfmenge 8,425 Kilogr. In einem Watt'schen Kofferkessel, unter welchem man 0,531 Kilogr. Steinkohle auf das Quadratdecimeter verbrannte, erhielt man 8,301 Kilogr. Dampf mit 1 Kilogr. Steinkohlen. In den Cornwalliser Kesseln, die wegen ihres großen Nutzeffectes bekannt sind, verhalten sich die Rostoberflächen so, daß auf jedes Quadratdecimeter in der Stunde 0,15 bis 0,20 Kilogr. Steinkohle verbrannt werden. Man kann aber aus diesen Versuchen keine Folgerungen machen, da sie unzurei-

chend und nicht mit den nöthigen Bemerkungen begleitet sind. Um daraus den Vortheil der großen Roste über die kleinen abzuleiten, hätte man vergleichende Versuche anstellen müssen, die jedoch nicht gemacht worden sind; außerdem sind auch die durch die Verbrennung von 1 Kilogr. Steinkohle hervorgebrachten Wirkungen zu stark, weil der Dampf stets mechanisch mit fortgeführtes Wasser enthält, dessen Menge in sehr ausgedehnten Grenzen verschieden sein kann, je nach der Stellung des Endes der Dampfröhre, welche den Dampf auffängt. Man hätte auch die der Verbrennung entgehende Luftmenge bestimmen müssen, sowie die Ausdehnung der Heizoberfläche der Kessel und die Temperatur am Ausgange der Canäle, denn man begreift, daß wenn diese Oberflächen groß genug wären, um den Dampf auf wenig mehr als 100° abzukühlen, alle Roste, die mit gleicher Luftmenge durchströmt waren, um eine gleiche Brennmaterialmenge zu verbrennen, denselben Nutzeffect hervorgebracht haben würden. Ein anderes Element, welches kennen zu lernen ebenfalls wichtig gewesen sein würde, ist die Beschaffenheit der Steinkohlen, die Größe der Stücke und die Dicke der Brennmaterialschicht auf dem Rost.

Der Maschinenbauer Cavé zu Paris hat sehr viel Versuche über die von verschiedenen großen Oefen hervorgebrachten Wirkungen angestellt; die auf das Quadratdecimeter und in der Stunde verbrannten Steinkohlen waren von 0,70 bis 0,24 Kilogr. verschieden. Die erlangten Resultate waren wesentlich dieselben; wenigstens waren die Veränderungen von gleicher Art mit denen, die bei mehreren Versuchen mit demselben Rost erlangt wurden.

752. Wir wollen es jetzt durch theoretische Betrachtungen versuchen, uns Rechenschaft über den Einfluß großer und kleiner Roste zu verschaffen. Bei dem Einfluß der Größe des Rostes sind mehrere Wirkungen in Betracht zu ziehen: die Vertheilung der Wärme, welche zwischen der Luft und der Ausstrahlung hervorgebracht ist, die Umstände der Verbrennung, die größere oder geringere Leichtigkeit des Schürens, und endlich der Widerstand des Ofens gegen die Bewegungen der Luft.

Wir wollen zwei Roste von sehr verschiedenen Dimensionen annehmen, auf denen man in derselben Zeit, dasselbe Gewicht desselben Brennmateriales unter gleichen Umständen benutzt, d. h. unter Anwendung von dem gleichen Volum überschüssiger Luft. Wenn kein Theil des Sauerstoffes der Verbrennung entging, so muß nach dem, was wir (747) sahen, die Menge der auf den Kessel ausstrahlenden Wärme mit der Rostoberfläche zunehmen. Bei der Annahme eines Kessels von 150°, bei Rostoberflächen, welche 1,05 und 0,1 Kilogr. verbrennen, würden die Mengen der strahlenden Wärme gleich 2,26 und 3,49 von der sein, welche von der Luft weggeführt ist, während die Temperatur der Luft 910°, 832° und 650° für dieselbe Ausdehnung der Heizoberfläche beträgt; für dieselbe Heizoberfläche würde daher der Nutzeffect offenbar um so größer sein, als der Rost eine größere Oberfläche hätte. Wenn man nun annimmt, daß der Sauerstoff bis auf die Hälfte von den drei angenommenen Rostoberflächen absorbirt worden sei, so würden die Mengen der strahlenden Wärme auf die, welche von der Luft weggeführt worden sind, sich wie 0,72, 0,85 und 1,39 verhalten. Sie würden daher mit der Rostoberfläche ebenfalls zunehmen. Da nun die Lufttemperaturen 850°, 770° und 610° sein würden, so würde die Benutzung großer Roste ebenfalls vortheilhaft sein. Da aber im All-

gemeinen die Heizoberflächen bedeutend sind, so würde die Temperatur der Luft am Ende des Canals wenig verschieden und die Steigerung des Nutzeffectes nur gering sein. Die großen Roste sind vortheilhaft, wenn man nur strahlende Wärme anwendet, und besonders, wenn sie nicht von überschüssiger Luft durchströmt werden. Diese Betrachtungen erklären jedoch den in Cornwales bestätigten Vortheil der großen Roste nicht; es ist wahrscheinlich, daß die besondere Sorgfalt, welche auf die Leitung der Feuer verwendet wird, den Eintritt eines zu großen Luftüberschusses verhindert.

Der Einfluß der Größe des Rostes auf die die Verbrennung begleitenden Erscheinungen ist sehr verwickelt, und nach der Beschaffenheit des Brennmateriales verschieden. Besteht das Brennmaterial in Cokes, oder in einer magern, nicht flammenden Steinkohle, oder in Anthracit, verändert sich die Beschaffenheit des Brennmateriales in den verschiedenen Zeiträumen nicht, so kann man die Dicke der Brennmaterialschichten, bei welcher der gesammte Sauerstoff der Luft benutzt wird, durch Versuche bestimmen. Wenn große Roste mit langsamer Verbrennung vortheilhaft sind, und wenn sie nicht zu absolut große Dimensionen haben, so hat das periodische Schüren keine Schwierigkeiten. Wenn aber die Steinkohlen mehr oder weniger fett sind, so werden die Verhältnisse in dem Ofen in dem Maaße, als die Verbrennung fortschreitet, verändert. Anfänglich geben sie viel Flamme, welche jedoch aufhört, sobald sie in Cokes verwandelt worden sind; damit alsdann die der Verbrennung entgehende Luft wesentlich constant bleibt, mußte die den Rost durchströmende Luftmenge zwischen den beiden Schürungen stets abnehmen. Es sind aber bei diesen Steinkohlen große Roste immer noch vortheilhaft, weil bei jeder Ladung nur ein Theil der Rostoberfläche mit Brennmaterial bedeckt ist, weshalb sich weniger Rauch entwickelt und die Verbrennung vollständiger ist. Mit anderen Worten, wenn der Rost fortwährend mit Cokes bedeckt und wenn die Dicke des Brennmaterials hinreichend ist, so daß nur eine geringe Luftmenge der Verbrennung entgehen kann, so werden die neun auf der Oberfläche sehr dünn verbreiteten Schürungen nur eine geringe Gasmenge entwickeln, welche durch den Ueberschuß der die Cokes durchströmenden Luft verbrannt wird. Dies geht übrigens aus den Versuchen von Combes hervor, der auf 1 Quadratdecimeter der Rostoberfläche und in einer Stunde 1,23 und 0,5 Kilogr. Steinkohlen verbrannte. Die sehr langsamen Verbrennungen und folglich die großen Roste sind hauptsächlich bei einem geringen Verbrauche sehr vortheilhaft; die Asche häuft sich auf der Oberfläche an, schützt das darunter befindliche Brennmaterial gegen Abkühlung, und es kann alsdann dasselbe langsamer verbrennen.

Die großen Roste haben außerdem den Vortheil, den Widerstand der Luft bei dem Durchströmen des Brennmateriales zu vermindern; sie sind bei schwachem Zug, mag derselbe nun von einem zu geringen Essendurchschnitt oder daher rühren, weil die Abkühlung der verbrannten Luft zu groß ist, unerläßlich.

753. Dennoch kommen geschickte Constructeure, welche Partei für die Roste, auf denen man 0,7 bis 0,8 Kilogr. Steinkohlen auf das Quadratdecimeter und in der Stunde verbrannte, ergriffen hatten, auf die kleinen Roste, welche unter gleichen Verhältnissen fast 1,2 Kilogr. Steinkohlen verbrennen, zurück. Sie halten es für zweckmäßiger, Rauch oder Gase entwickeln, als zu viel unveränderte Luft hindurchströmen zu lassen, und diese

letztere Bedingung, welcher genügt werden kann, indem man der Steinkohlenschicht eine zweckmäßige und mit der Beschaffenheit und Größe der Stücke verschiedene Dicke giebt, kann weit leichter mit kleinen als mit großen Rosten bewirkt werden. Man könnte fürchten, daß mit den auf die angegebene Weise eingerichteten und auf eine hohe Temperatur gebrachten Rosten die Kessel schneller beschädigt werden müßten, als bei großen Rosten in einer niedrigern Temperatur; allein in den Locomotiven, in denen die Temperatur weit höher ist als in den gewöhnlichen Kesselöfen, verändern sich die den Rost umgebenden Wände nur nach langem Gebrauch und in Folge gewisser Ursachen, welche die Veränderung des Metalles beschleunigen mußten.

754. Man hat es durch eine lange Praxis bestätigt, daß die in den Brennmaterialien vorhandenen fremdartigen Substanzen, aus denen die Asche gebildet wird, einen großen Einfluß auf die Nutzeffecte dieser Brennmaterialien haben. Dieser Einfluß besteht nicht allein in einer Verminderung des im Verhältniß zu der Menge der fremdartigen Substanzen stehenden Wärmeeffectes, sondern er ist weit größer; zwischen den Wirkungen der Cokes mit 0,15 und 0,02 Asche giebt es nur schwer zu erläuternde Unterschiede. Für Cokes von 0,15 Asche beträgt der Wärmeeffect 0,85 • 8000 = 6800, und die hervorgebrachte Temperatur würde 2687 statt 2700° sein, die man mit reinem Cokes erreichen kann. Es rührt daher der Unterschied der Wirkungen nicht von den durch die Temperatur hervorgebrachten Unterschieden her. Es scheint sehr wahrscheinlich, daß der Einfluß der Asche daher rührt, daß sie sich auf die Oberfläche des Brennmateriales in mehr oder minder porösen Schichten absetzt oder sich auf derselben verglast, oder die unmittelbare Berührung der Luft mit dem Brennmaterial verhindert, und daß daher durch den Rost um so mehr unveränderte Luft strömt, als das Brennmaterial mehr Asche enthält. Dieser Einfluß der Asche ist weit weniger bemerkbar in den Oefen mit mittler, als bei denen mit hoher Temperatur. In den letzteren schmilzt die Asche nothwendig, absorbirt dadurch Wärme, und es nimmt der Nutzeffect sehr rasch mit der erlangten Temperatur zu.

755. Wir müssen nun noch von den verschiedenen, rauchverzehrenden Oefen, die in Vorschlag gebracht worden sind, und von denen in dem Vorhergehenden geredet wurde, handeln. Zuvörderst scheint aus sehr vielen Versuchen und hauptsächlich aus den von Combes angestellten (687) gefolgert werden zu können, daß aus der Rauchverbrennung keine wesentliche Brennmaterialersparung hervorgeht, wahrscheinlich, weil der Ueberschuß der Luft, den man zur Bewirkung der Verbrennung in den Oefen führen muß, die Steigerung der producirten Hitze wieder aufhebt. Muß man aus polizeilichen Rücksichten den Rauch verbrennen, so hat man die Wahl unter einer großen Menge von Apparaten, mit denen man seinen Zweck fast unter allen Umständen erreichen kann. Die Meinung des Verfassers über die Zweckmäßigkeit dieser Apparate ist folgende:

756. Alle alten Apparate, bei denen die Schürung des Rostes ununterbrochen, oder durch Drehung des Rostes, oder durch ein fortwährendes Einfüllen des Brennmateriales stattfindet (694, 695, 696), werden jetzt nicht mehr angewendet; sie sind theuer, verwickelt, häufigen Reparaturen unterworfen, und müssen alle viel unveränderte Luft hindurchströmen lassen. Der Apparat mit dem sich der Länge nach bewegendem Roste (729) scheint

auch zu dieser Art zu gehören, und es strömt unzweifelhaft bei der Bewegung des Rostes auf den beiden Seitenflächen viel der Verbrennung entgehende Luft hindurch. Wir wollen übrigens wiederholen, daß die regelmäßige Feuerung dieses Apparates unter sehr vielen Umständen nachtheilig ist.

757. Die Apparate, bei denen der Rauch aus den Steinkohlenöfen über Cokesheerde strömt, können bei guter Leitung auch gute Resultate geben. Der Apparat von Chanter (692) und der von Grar (728) scheinen mit Sicherheit benutzt werden zu können, jedoch unter der Bedingung, daß sie von intelligenten Heizern bedient werden.

758. Die Treppenroste (733), bei denen das Brennmaterial unaufhörlich nach dem Cokesheerd getrieben wird, geben, wie auch allgemein anerkannt ist, sehr gute Resultate, die a. a. O. weitläufig auseinandergesetzt worden sind jedoch erfordern sie von Seiten des Heizers eine fast ununterbrochene Aufmerksamkeit.

759. Bei sehr vielen Apparaten erfolgt die Rauchverbrennung durch Zuführung von Luft auf die Flamme, und es ist dies auf sehr verschiedenartige Weise bewirkt worden. Die in Nr. 682 angegebene Einrichtung scheint allein die nothwendigen Bedingungen zur vollständigen Rauchververbrennung zu erfüllen, indem dabei nur wenig überschüssige Luft in den Heerd geführt wird.

760. Die Apparate, in welchen sich das Brennmaterial von unten nach oben erhebt (732), scheinen die günstigsten Verhältnisse zu vereinigen, nicht allein in Beziehung auf die Rauchverbrennung, sondern auch in Beziehung auf die beste Benutzung des Brennmateriales, jedoch stets unter der Bedingung, daß bei den großen Apparaten eine Einführung von Luft auf den Rost stattfindet, weil der Eintritt der Luft durch die Seitenwände bei einer sehr großen Rostoberfläche unzureichend sein könnte. Bis jetzt sind die erlangten Resultate stets geringer gewesen, als bei gewöhnlichen Oefen. Wir wollen nun noch hinzufügen, daß diese Apparate das Nachtheilige haben, zu beiden Seiten des Ofens zu viel Platz einzunehmen, was z. B. bei einer Stellung der Generatoren unter dem Boden oft große Schwierigkeiten macht.

761. Die Apparate, in welchen die Brennmaterialien in Gase verwandelt werden (734), und welche sehr ausgewählte Brennmaterialien erfordern, sind sehr kostbar und verwickelt in ihrer Anlage, wenn man sie mit gewöhnlichen Kesselöfen vergleicht. In Folge der damit angestellten Versuche werden diese Nachtheile durch eine Brennmaterialienersparung nicht ersetzt. Einen regelmäßigen Betrieb von längerer Dauer hat man damit noch nicht ausführen können.

762. Die Oefen, bei denen die Verbrennung durch den Wind eines Ventilators in einem verschlossenen Feuerraum bewirkt wird, gestatten die Rauchverbrennung und die Regulirung des Luftvolums auf eine solche Weise, daß fast die gesammte Sauerstoffmenge der Luft in Kohlensäure verwandelt wurde. In einigen ausnahmsweisen Fällen konnte aber dadurch eine fast vollständige Abkühlung der Gase, und folglich auch ein weit größerer Nutzeffect als durch die übrigen Einrichtungen erlangt werden. Jedoch ist erst eine längere Praxis erforderlich, um dies genauer feststellen zu können.

Ueber die Vorrichtung von **Prunier** ist schon weiter oben (737) das Erforderliche gesagt.

763. Bei allen Ofeneinrichtungen ohne Ausnahme kann man nur durch Versuche zur Hervorbringung des besten Nutzeffectes gelangen, selbst wenn man annimmt, daß die hervorzubringende Wirkung constant sei, und daß sich die Qualität des Brennmateriales und die mittlere Größe der Stücke nicht verändere. Diese Versuche werden dadurch bewirkt, daß man die Dicke der Brennmaterialschicht und das Oeffnen des Registers verändert; allein der Heizer hat keinen Führer, wenn der hervorgebrachte Nutzeffect nicht stets derselbe ist. Man wird nicht eher gute Oefen haben können, als bis man ein Instrument besitzt, welches zu jedem Augenblick die Beschaffenheit der verbrannten Luft angiebt. Wenn der Brennmaterialverbrauch constant wäre, so könnte ein am Ende des Kessels oder in dem Canal, der die Gase zur Esse führt, angebrachtes Thermometer dem Heizer als Führer bei der Regulirung der Dicke der Brennmaterialschicht und der Registeröffnung dienen, weil das Maximum der von dem Instrument angegebenen Temperatur, die das Instrument in Folge der durch die Verbrennung hervorgebrachten höchsten Temperatur angiebt, entsprechen würde. Die Temperatur würde durch eine Zunahme der Luft ohne Veränderung, die durch das Brennmaterial strömte, und durch die Bildung des Kohlenoxydes vermindert werden. Wenn aber der Verbrauch nicht constant ist, so würde für einen jeden eine verschiedene höchste Temperatur herrschen, die offenbar um so niedriger sein müßte, je geringer der Brennmaterialverbrauch wäre. Ein Manometer mit geneigter Röhre, das mit der Ausströmungsröhre der verbrannten Luft in Verbindung stände, und welches die in Nr. 563 angegebene Einrichtung hätte, würde sehr zweckmäßig zur Erkennung der Verhältnisse sein, unter denen die Verbrennung bewirkt wird, weil der von dem Instrument angegebene Druck die Ausströmungsgeschwindigkeit anzeigen würde. Aus dieser könnte man das Luftvolum ableiten, welches zur Verbrennung eines Kilogr. von dem Brennmaterial verwendet würde, und man könnte das Register in der Art reguliren, um dasjenige Luftvolum einströmen zu lassen, welches die höchste Wirkung geben muß; aber auch dies setzt einen constanten Zustand des Ofens voraus. Man sieht hierin ebenfalls eine neue Ursache zur Vermeidung periodischer Veränderungen, die sich stets in den gewöhnlichen Oefen zwischen zwei Schürungen zeigen.

764. Wenn der Apparat eine solche Einrichtung hätte, daß die verbrannte Luft vollständig und nutzbar abgekühlt werden könnte, welches unter einigen Umständen der Fall sein kann, so würde die in den Ofen eingeführte überschüssige Luft nur geringe Wichtigkeit haben, und man brauchte nur alle Sorgfalt auf die möglichst vollständige Verbrennung des Rauches zu richten.

Fünftes Capitel.

Oefen für verschiedene Brennmaterialsorten.

765. Nach diesen allgemeinen Betrachtungen über die Oefen und Heerde sollen diejenigen Einrichtungen angegeben werden, die nach der Ansicht des Verfassers die zweckmäßigsten für verschiedene Brennmaterialsorten sind, wobei jedoch nur die Kesselöfen im Auge behalten werden, während besondere, hauptsächlich die hüttenmännischen Oefen, unberücksichtigt bleiben müssen.

766. Oefen für mehr oder weniger fette oder backende Steinkohlen. -- Oefen dieser Art haben stets einen horizontalen oder nur wenig geneigten Rost, der unterbrochen gefeuert wird. Ueber die Ausdehnung der Rostoberfläche im Verhältniß zu der Menge des Kohlenverbrauches läßt sich nichts Bestimmtes sagen; man könnte sich aber für die großen oder für die kleinen Roste entscheiden, und dabei das weiter oben (751) Gesagte berücksichtigen, je nachdem der Ofen von einem Körper mit hoher Temperatur umgeben ist oder nicht. Bei einer hohen Temperatur müßte wieder der Fall einer weniger oder mehr lebhaften Verbrennung, je nach der größern oder geringern Leichtigkeit des Schürens, oder je nach den Dimensionen des Rostes unterschieden werden.

Die jetzt gewöhnliche Einrichtung hat mehrere wesentliche Nachtheile. Der erstere besteht in der Verstopfung der freien Roštöffnung durch das Zusammenbacken oder durch die teigige Schmelzung der Kohlen in der Wärme, ein Umstand, der den Heizer veranlaßt, die glühende Masse häufig aufzuheben, was entweder mittelst einer Preßstange durch das Schürloch, oder mittelst eines Hakens von der untern Seite des Rostes aus geschieht. Der zweite Nachtheil kommt von den Veränderungen in dem Zustande des Brennmateriales in dem Zeitraume her, der zwei Schürungen von einander trennt, indem während desselben die Kohlen zu Cokes werden und dem Durchströmen der Luft einen sich in dem Maaße vermindernden Widerstand der Luft entgegensetzen, wie die Verbrennung Fortschritte macht; in Folge dessen nimmt die der Verbrennung entgehende Luftmenge in dem Zwischenraume zwischen zwei Schürungen zu. Endlich entwickelt sich stets viel Rauch in dem Augenblicke des Einschürens und auch noch eine gewisse Zeit nachher, hauptsächlich bei kleinen Kohlen, oder wenn man sie aus dem Grunde befeuchtet hat, damit sie nicht von dem Luftstrome mit weggerissen werden.

Der erste und der letzte von diesen Nachtheilen verschwinden zum großen Theil, wenn die Roste eine sehr große Oberfläche haben und wenn häufig geschürt wird, weil die auf den Rost gebrachte Steinkohlenmenge nur einen Theil desselben bedeckt. Man vermeidet auch diese beiden Nachtheile dadurch, daß man das frische Material stets nur auf den vordern Theil des Rostes auffetzt, und die vorhergehende Schürung dadurch weiter nach hinten stößt, was bei geneigten Rosten leicht ist. Dadurch werden diese vorderen Steinkohlen zum großen Theil destillirt, und die entwickelten Gase, welche über denjenigen Theil des Rostes wegströmen, welcher schon in Cokes

verwandelte Steinkohlen umschließt, befinden sich in den zur Rauchverbrennung günstigen Bedingungen. Es könnten diese Oefen sehr wesentlich dadurch verbessert werden, wenn man die Roste auf die Art mit Brennmaterial versähe, daß die gesammte Luft, welche das Brennmaterial durchströmt, absorbirt und durch den Zug der Esse frische Luft auf die vom Roste entweichenden Gase geführt würde, so daß sich beide möglichst gut mit einander vermengten.

Die folgende Einrichtung scheint den vorgeschlagenen sehr vorgezogen werden zu müssen. Der Rost ist an der Hinterwand und an den beiden Seitenwänden von gußeisernen, schmiedeeisernen, oder von Röhren von feuerfestem Thon umgeben, die einen weiten Querschnitt haben. Diese drei Röhren stehen mit einander in Verbindung und öffnen sich zu beiden Seiten der Thür, wo sie mittelst Registern verschlossen sind, die der Heizer mehr oder weniger öffnen kann. Diese drei Röhren haben an den Seiten einander sehr nahe stehende enge Spalten, die eine solche Einrichtung haben, daß die aus ihnen entweichenden Luftströme etwa unter 45° zum Horizont geneigt sind. Da die Röhren sehr weit sind, so wird die durch die Spalten ausströmende Luft fast dieselbe Geschwindigkeit wie der Zug haben; sie werden sich auf eine große Distance verlängern, und da die einen senkrecht auf der Richtung der Flamme stehen, und die anderen eine ihr entgegengesetzte Richtung haben, so können sie eine genaue Vermengung mit den im Roste sich entwickelnden Gasen veranlassen. Da außerdem die Luftstrahlen eine hohe Temperatur haben, so vereinigen sich alle Umstände, um eine vollständige Verbrennung zu erhalten. Die Versuche, die wir bereits über den Einfluß der Luftstrahlen jenseit des Rostes unter weit günstigeren Umständen mitgetheilt haben, lassen voraussetzen, daß diese Einrichtung eine sehr wirksame sein müsse. Es muß aber durch vorläufige Versuche die Weite bestimmt werden, welche man den Zutrittsöffnungen für die Luft giebt, eine Weite, die in den Zwischenräumen zwischen zwei Schürungen abnehmen muß. Der Querschnitt der Canäle müßte in Beziehung auf die Summe der Querschnitte der Ausströmungsöffnungen hinreichend groß sein, damit die äußere Luft in denselben keine Widerstände erlitte. Was nun die Querschnitte der Ausströmungsöffnungen betrifft, so muß bemerkt werden, daß, da die Luft nur wenig Widerstände zu überwinden hat, die Ausströmungsgeschwindigkeit fast vier oder fünf mal größer als die der Luft in dem Aschenfall sein würde. Es würde folglich hinreichen, daß die Summe der Oeffnungsoberflächen fast gleich $^1/_{10}$ des Essenquerschnittes wäre. Allein die Dicke der Brennmaterialschicht auf dem Roste müßte sehr bedeutend sein, damit der gesammte Sauerstoff der Luft in Kohlensäure und ein Theil davon in Kohlenoxyd verwandelt werden könnte.

767. Man könnte diese Einrichtung dadurch vereinfachen, daß die Einführungsöffnung nur an der Rückwand des Heerdes angebracht würde. Hinter der Feuerbrücke müßte ein großer gußeiserner, oder ein Cylinder aus feuerfestem Thon angebracht sein, an beiden Enden verschlossen und mittelst seines untern Theiles mit dem Boden des Aschenkastens durch eine Oeffnung in Verbindung stehend, welche die Breite des Rostes hätte, und die durch ein dem Heizer zugängliches Register verschlossen werden könnte. Die Oeffnung nach dem Roste zu müßte aus einer großen Anzahl von Spalten bestehen, um die Luftstrahlen in schiefer Richtung auf den Rost zu führen.

Man könnte auch die Rauchentwickelung, welche bei der Thüröffnung

stets stattfindet, dadurch vermeiden, daß man die in Nr. 681 angegebene Schürung anwendete, und indem man sich eines zweiten Rostes bediente, auf den die Cokes fallen, wodurch die Wegnahme der Rückstände sehr erleichtert werden würde.

Die Fig. 148 stellt die Gesammtheit dieser Vorrichtungen dar. A gußeiserne Platte, auf welche das Brennmaterial geworfen wird, und von der man es auf den ersten Rost schiebt; E enge Spalte, mit einer Glasscheibe verschlossen, durch welche der Heizer auf den Rost sehen und dessen Beschaffenheit beurtheilen kann; P erster, geneigter Rost; C zweiter Rost, auf welchem sich die Cokes und die Schlacken anhäufen; F Röhre von Gußeisen, oder von feuerfestem Thon, die an beiden Enden verschlossen und an ihrem obern Theile mit einer großen Anzahl kleiner Düsen a versehen ist, die horizontal eng und auf solche Weise geneigt sind, daß die Luftstrahlen fast die Neigung der Flamme haben, jedoch in entgegengesetzter Richtung; G Auffangung der Luft in dem Aschenkasten, die doppelt vorhanden ist; H Register, welches den Zweck hat, den Eintritt der Luft in die Röhre F zu reguliren, was mit Hülfe der Stange K, die mit Zähnen I versehen ist, bewirkt wird.

768. Der Verfasser sieht es als sehr wahrscheinlich an, daß diese Vorrichtung eine sehr gute Rauchverbrennung bewirken würde, sobald nur nicht zu viel überflüssige Luft einströmt und wenn das Feuer gut geleitet wird, und er ist der Meinung, daß wenn die verschiedenen Vorrichtungen zur Einführung der Luftstrahlen auf den Rost gute Resultate nicht gegeben haben, dies davon abhängt, daß sie zu groß oder zu klein, nicht hinreichend getheilt waren und daß die ausströmende Luft vorher nicht erwärmt worden war. In der kleinen englischen Schrift von C. W. Williams vom Jahre 1854, in der alle Arten der Luftzuführung zu Steinkohlenheerden dargestellt worden sind, findet man, daß diese Luftzuführung entweder in der Richtung der verbrannten Luft, oder senkrecht auf dieselbe bewirkt worden ist, und bei sehr vielen gelangt die Luft von dem äußern in einen sehr hohen verschlossenen Raum hinter dem Roste, aus welchem sie durch Oeffnungen in einer senkrechten gußeisernen Platte, die mehr oder weniger geneigt oder horizontal ist, ausströmt. Es ist sehr klar, daß die Theilung der Ströme nur in dieser letztern Stellung der Platte Einfluß hat, denn bei allen übrigen bleiben die Strahlen nur in einer geringen Entfernung von der Platte getrennt und sind vereinigt, ehe sie noch die brennbaren Gase erreicht haben.

769. Für sehr große Oefen, deren Rostoberfläche durch das angegebene Verfahren nicht regelmäßig geschürt werden kann, könnte man das Brennmaterial mittelst einer sehr einfachen Vorrichtung nach und nach zu dem zweiten Rost gelangen lassen. Unter dem Roste müßte eine Art Rechen angebracht sein, der aus Eisenstiften bestände, die an einem horizontalen Stück in dem Aschenfall befestigt wären; der Rechen müßte so viele Spitzen oder Stäbchen haben, als Zwischenräume zwischen den Roststäben sind; in allen müßten die Stäbe in derselben senkrechten Ebene befindlich sein, als diese Zwischenräume, so daß ihre Entfernung von einander etwa 0,10 M. betragen würde. Es ist nun klar, daß wenn man die Stäbe durch eine drehende Bewegung der gemeinschaftlichen Welle emporhöbe und ihnen eine Bewegung nach hinten zu um 0,10 ertheilte, die ganze Brennmaterialmasse um eben so viel gegen das Ende des Rostes geschoben werden müßte. Man

würde auf diese Weise dieselbe Wirkung erhalten wie mit dem Treppenroste, wobei jedoch die Arbeit für den Heizer eine minder anstrengende sein würde, sowohl bei dem Schüren als auch bei dem Vorwärtstreiben des Brennmateriales auf dem untern Rost.

770. Oefen für magere Steinkohlen und für Anthracit, der im Feuer nicht zerspringt. — Die mageren Steinkohlen, d. h. solche, die keine lange Flamme hervorbringen, und der Anthracit, der im Feuer nicht zerspringt, können in gewöhnlichen Oefen verbrannt werden und zwar bei einem guten Nutzeffect, weil der Zustand derselben stets gleich bleibt, jedoch unter der Bedingung, daß die Dicke der Brennmaterialschicht und der Zug zweckmäßig regulirt werden. Die Dicke des Brennmateriales muß um so bedeutender sein, je größer die Stücke sind und je kleiner die Rostoberfläche ist, damit der Ofen eine hohe Temperatur habe und damit sich nur eine geringe Menge unveränderter Luft entwickele. Eine Einführung von Luft könnte zweckmäßig sein, um die Strahlen mit der verbrannten Luft zu vermengen, indem diese Kohlenoxyd und jene freien Sauerstoff enthält; allein es müßte alsdann die Brennmaterialdicke noch weit größer sein. Durch einige Versuche würde man die zweckmäßige Brennmaterialdicke und die Registerstellung sehr leicht kennen lernen.

Die mageren Steinkohlen werden in Frankreich erst seit wenigen Jahren zur Kesselfeuerung benutzt. Der Ingenieur Evrard war einer der Ersten, der magere Kohlen zur Kesselfeuerung anwendete. Er bediente sich eines Rostes mit großer Oberfläche, denn der Steinkohlenverbrauch in der Stunde und auf das Quadratdecimeter betrug 0,4 Kilogr.; die Dicke der Brennmaterialschicht belief sich auf 0,20 M., und die Entfernung des Rostes von den Sieder öhren auf 0,50 M. Der Verfasser hält es für sehr wahrscheinlich, daß wenn man die mageren Steinkohlen und die zu ihrer Verbrennung zweckmäßigen Heerde besser kennt, sie in sehr vielen Fällen den fetten oder backenden Kohlen vorgezogen werden, weil die Leitung des Feuers bei denselben eine leichtere ist als bei den Backkohlen, und die mageren Kohlen bei gleichen Gewichtsmengen auch einen größern Nutzeffect hervorbringen können als die anderen Kohlen. Die leichtere Leitung des Feuers rührt daher, daß bei den dickeren Brennmaterialschichten auf dem Roste eine kleine Veränderung derselben keinen Einfluß hat, während er bei einem Ofen, der mit flammender Steinkohle gefeuert wird, sehr bedeutend ist. Ungeachtet des geringern Wärmeeffectes der mageren Kohlen kann der Nutzeffect bedeutender sein als der der flammenden, weil die ersteren wenig brennbare Gase erzeugen und man der Brennmaterialschicht die zweckmäßige Dicke geben kann, daß aus dem Heerde nur eine geringe Luftmenge unverändert entweicht.

771. Oefen mit Feuerung von mageren Steinkohlen und mit Anthracit, der im Feuer zerspringt. — Diese Brennmaterialien können in gewöhnlichen Oefen verbrannt werden, wenn man einige Vorsichtsmaaßregeln bei dem Schüren auf dem Roste und hauptsächlich, wenn man dünne Stäbe, die nur geringe Zwischenräume haben, anwendet. Es würde aber stets vortheilhafter sein, sie in Oefen mit continuirlicher Schürung, wie sie (697) beschrieben sind, anzuwenden. Man müßte die Höhe von dem Ende der Speiseröhre in der Art bestimmen, daß der Rost stets mit Brennmaterial bedeckt und daß eine minder dicke Schicht zweckmäßig erkannt wäre. Diese Art der Verbrennung erfordert aber Brennmaterialien,

die nur wenig Rückstände hinterlassen. Außerdem ist es wahrscheinlich, daß die verbrannten Luftströme, welche durch sehr verschiedenartige Dicken von Brennmaterialien strömen, nicht auf dieselbe Weise zusammengesetzt sind wie diejenigen, welche dünnere Schichten mit freiem Sauerstoff durchströmt haben, während andere Kohlenoxyd geben könnten; es würde alsdann vortheilhaft sein, die Luftstrahlen mit eingeführter äußerer Luft zu vermengen, indem man den minder dicken Schichten eine hinreichende Dicke gäbe, um den gesammten Sauerstoff der Luft zu absorbiren. Bei großen Rosten müßte man offenbar mehrere Speiseröhren anbringen.

772. Oefen zur Holz= und Torffeuerung. — Diese Brennmaterialien geben eine lange Flamme und verstopfen den Rost nicht, indem ihre Asche leicht durch die Stäbe fällt. Die beste Einrichtung ist die in Nr. 651 angegebene; jedoch wird es sehr vortheilhaft sein, jenseit der Feuerbrücke Luft einzuführen, wie (767) für Steinkohlen angegeben worden ist. Die Oefen mit umgekehrter Flamme (676, 677) sind sehr leicht zu leiten und gewähren eine vollständige Rauchverbrennung, allein sie saugen einen schwierig zu mäßigenden Luftüberschuß an.

773. Oefen zur Feuerung mit Sägespänen und mit pulverförmiger Lohe. — Diese Brennmaterialien müssen auf horizontalen Rosten mit großen Oberflächen verbrannt werden, damit die Geschwindigkeit der Luft gering ist und nur wenig Brennmaterial mit weggeführt wird. Um zu vermeiden, daß das Brennmaterial durch die Roststäbe geht, kann man den Rost mit einer 5 bis 6 Centimeter dicken Schicht von Cokes oder Cinters bedecken, auf welche man die Sägespäne oder die Lohe wirft. Es wird stets viel Asche mit weggeführt, und um so mehr, als der Rost im Verhältniß zu dem Verbrauch klein ist, und es müssen daher die Canäle oft gereinigt werden. Es würden bei solchen Oefen Zuführungen von Luft sehr zweckmäßig sein.

Bei den im Hüttenwesen angewendeten Oefen, bei denen eine Erzeugung der höchsten Temperaturen von Wichtigkeit ist, und bei welchen folglich die möglichst geringe überschüssige Luft verwendet werden muß, scheint die vorherige Verwandlung des Brennmateriales in Gas das vortheilhafteste Verhältniß darzubieten.

Sechstes Buch.

Emission und Transmisson der Wärme.

774. Wir haben in den vorhergehenden Büchern alles dasjenige untersucht, was sich auf die Wärmeerzeugung und auf die Verbrennung bezieht; diese in den Oefen oder auf den Rosten erzeugte Wärme geht zuweilen direct in die zu erhitzenden Körper über, wie dies bei den Schmelz-, Schweiß- und Glühöfen u. s. w., in den Hütten, in den Ziegelöfen u. s. f. der Fall ist. In sehr vielen Fällen aber muß die Wärme zur Erhitzung des Wassers, der Luft und anderer Körper durch Transmission, durch Umgebungen von verschiedener Beschaffenheit verwendet werden. Um daher die allgemeinen Betrachtungen, welche der speciellen Untersuchung verschiedener Anwendungen der Wärme vorangehen müssen,zu vervollständigen, müssen wir noch von der Emission oder Ausströmung der Wärme mittelst Oberflächen und von ihrer Transmission oder Uebertragung durch die Körper reden.

Erstes Capitel.

Emission der Wärme durch Oberflächen, die in einer constanten Temperatur erhalten werden.

775. Der Fall, um den es sich hier handelt, ist der in einer im Innern durch Dampf erhitzten und der Luft ausgesetzten Röhre, der eines mit heißem Wasser angefüllten Gefäßes u. s. w. Die von einer in einer constanten Temperatur erhaltenen und der Luft ausgesetzten Oberfläche ausgeströmte Wärmemenge hängt von der Ausdehnung dieser Oberfläche, von ihrer Form, ihrer Temperatur und von der Luft ab. Es ist von Wichtigkeit, den Werth derselben in Wärmeeinheiten durch eine Oberflächeneinheit während einer Zeiteinheit im Verhältniß zu den Elementen zu kennen, durch welche sie veränderlich sind, wenigstens für die gewöhnlich vorkommenden Fälle.

Um zu begreifen, wie diese ausgeströmte Wärmemenge bestimmt werden kann, wollen wir ein mit heißem Wasser angefülltes metallenes Gefäß an-

nehmen; da die Metalle sehr gute Wärmeleiter sind, so wird die äußere Oberfläche des Gefäßes dieselbe Temperatur als das in demselben befindliche Wasser haben. Wir wollen annehmen, daß das Gewicht des Wassers, vermehrt um das des Gefäßes und multiplicirt durch seine Wärmecapacität, durch P in Kilogrammen ausgedrückt sei, daß S eine Oberfläche in Quadratmetern bezeichne und daß die äußere Temperatur auf 0^0 stehe; wir wollen durch θ die Zeit in Secunden ausdrücken, welche während der Abkühlung des Wassers von T Graden bis T — 1 Graden verfließt. Die Menge der Wärmeeinheiten, die während der Zeit θ verloren geht, ist offenbar gleich P und muß wesentlich gleich derjenigen sein, welche aus dem Gefäß während derselben Zeit ausgeströmt ist, wenn seine Temperatur constant und gleich der Mittelzahl von T und T — 1, d. h. gleich $T - \frac{1}{2}$ wäre. Demnach würde die Wärmemenge M, welche die Oberfläche des Gefäßes in der Stunde und auf das Quadratmeter verlöre, wenn die Temperatur auf $T - \frac{1}{2}$ erhalten würde, sein:

$$M = \frac{P}{S} \cdot \frac{3600}{\theta} = \frac{1}{\theta} \cdot \frac{P \cdot 3600}{S}.$$

Wenn man nun die Zeit von $\theta, \theta', \theta''$ u. s. w., welche successiven Erkaltungen von 1^0 entsprechen, wahrnimmt, so kann man daraus die Wärmemengen ableiten, die von dem Quadratmeter und in der Stunde für die entsprechenden Temperaturüberschüsse ausgeströmt sein würden. Es bliebe alsdann noch durch Versuche das Gesetz aufzusuchen, dem diese Resultate im Verhältniß zu den Temperaturüberschüssen folgen.

776. Wenn ein mit heißem Wasser angefülltes Gefäß sich abkühlt, so nennt man Geschwindigkeit der Erkaltung das Verhältniß zwischen einer sehr kleinen Temperaturveränderung dt und der Zeit $d\theta$, während welcher sie erfolgt. Man erhält daher $v = \frac{dt}{d\theta}$; oder Pdt, was die während der Zeit $d\theta$ ausgeströmte Wärmemenge repräsentirt. Wenn durch irgend ein Mittel die Temperatur des Gefäßes constant bliebe, so würden die während derselben Zeit ausgeströmten Wärmemengen auch constant werden und die in der Zeiteinheit ausgeströmte würde offenbar $\frac{Tdt}{d\theta}$ oder gleich Pv sein. Wenn demnach die Zeiteinheit 1 Secunde ist, so würde man auch haben:

$$M = v \cdot \frac{P \cdot 3600}{S}.$$

Wenn man $\frac{v}{1\theta}$ macht, wobei die constante Geschwindigkeit während der Abkühlung von 1^0 vorausgesetzt wird, so kommt man auf den ersten Werth von M zurück.

777. Das Gesetz von Newton. — Newton hatte angenommen, daß die Geschwindigkeit der Luft proportional dem Temperaturüberschuß des Körpers in der Luft sei und hatte daher die Formel aufgestellt

$$v = qt;$$

wobei t der Temperaturüberschuß, ein mit der Temperatur der Körpers veränderlicher Coefficient ist. Dies Gesetz ist aber ungenau, weil sich die Geschwindigkeiten weit schneller verändern.

778. Das Gesetz von Dulong und Petit. — Diese Physiker haben zahlreiche Versuche über die Abkühlung eines Thermometers in einem verschlossenen Mantel angestellt; es wurde derselbe mit verschiedenen Gasen unter verschiedenem Druck angefüllt und durch sein Eintauchen in ein Bad in einer constanten Temperatur erhalten. Diese Versuche bestätigen nachstehende Thatsachen:

1) Die Erkaltung eines Körpers erfolgt aus seiner Ausstrahlung und aus der Berührung der umgebenden Flüssigkeit.

2) Die Erkaltungsgeschwindigkeit, die von der Ausstrahlung herrührt, ist dieselbe für alle Körper, allein ihr absoluter Werth ist mit der Beschaffenheit der Oberflächen verschieden. Sie ist durch die Formel

$$v = ma^{\theta}\left(a^{t} - 1\right),$$

dargestellt, in welcher m eine Zahl darstellt, die von der Beschaffenheit der Oberfläche der Körper abhängt, a die Zahl 1,0077, θ die Temperatur des Mantels und t den Temperaturüberschuß über die des Mantels bezeichnet.

3) Die von der Berührung der umgebenden Flüssigkeit herrührende Erkaltungsgeschwindigkeit ist ebenfalls für alle Körper dieselbe; allein ihr absoluter Werth hängt von der Beschaffenheit der Oberfläche ab. Er ist dagegen weder von der Form des Körpers, noch von dem Temperaturüberschuß des Mantels abhängig. Diese Geschwindigkeit in der Luft unter dem Drucke von 0,76 M. wird durch die Formel

$$v = nt^{1,233}$$

dargestellt, in welcher n eine mit der Form und Ausdehnung der Körperoberflächen veränderliche Zahl und t den Temperaturüberschuß des Körpers über den der ihn umgebenden Luft bezeichnet.

779. Neue Versuche. — Nimmt man auch diese Gesetze als vollkommen genau an, so können die sie darstellenden Formeln zu Nichts benutzt werden, so lange die Coefficienten m und n für die verschiedene Beschaffenheit der Oberflächen und für die verschiedenen Körperformen nicht bekannt sind. Es wird hinzugefügt, daß die Herren Laprévotaye und Desains in verschiedenen Fällen Resultate gefunden hatten, die mit den obigen Formeln nicht übereinstimmten. Der Verfasser hat daher die Frage wieder aufnehmen zu müssen geglaubt, jedoch indem er sich auf das Studium der Abkühlung der Körper in der Luft unter dem gewöhnlichen Drucke und in dunklen Mänteln beschränkte; denn die Erkaltung eines Körpers in verschiedenen Gasen, unter verschiedenem Drucke und mit vergoldeten oder versilberten Mänteln oder Umgebungen ist eine rein speculative Frage, die in der Anwendung nie vorkommt.

780. Wir wollen uns jedoch hier nur auf einige allgemeine Angaben und auf die Mittheilung der erlangten Resultate beschränken, da die Einzelnheiten über die Apparate und die bei den Versuchen angewendeten Berechnungsmethoden zu weit führen würden.

781. Versuche, die den Zweck hatten, die absoluten Werthe der Erkaltung aufzufinden, konnten nicht mit einfachen Thermometern ausgeführt werden; der Verfasser wendete Kugeln von dünnem Messingblech an, deren Durchmesser zwischen 0,05 und 0,30 Meter begriffen waren; ferner mehrere Cylinder, deren Durchmesser 0,03 bis 0,30 Meter und deren Höhen 0,05 bis 0,50 M. betrugen und mehrere länglichviereckige Gefäße von verschiedenen Dimensionen; alle diese Gefäße wurden nach einander ohne und dann mit Ueberzügen von verschiedenen Substanzen benutzt. Das Wasser, welches sie enthielten, wurde unaufhörlich bewegt. Die Temperaturen wurden mittelst sehr empfindlicher Thermometer bestimmt und die Zeiten mittelst einer Bréguet'schen Terzenuhr gemessen. Die Gefäße waren von einem Mantel mit doppelten Wänden umgeben, deren Zwischenraum mit Wasser angefüllt war, und die Luft erneuerte sich in demselben und nahm die Temperatur des Mantels an.

782. Die Fig. 149 stellt einen senkrechten Durchschnitt des Raumes mit constanter Temperatur, Fig. 150 aber einen Grundriß desselben dar. **A B C D E F** und **A′ B′ C′ D′ E′ F′** sind zwei Cylinder von mit Blei überzogenem Blech, concentrisch zu einander, und der Zwischenraum mit Wasser angefüllt; es besteht dieser Mantel aus zwei gleichen Theilen, die durch eine senkrechte Ebene von einander getrennt und durch Haken vereinigt sind. Der innere Cylinder hat 1 M. Höhe und 0,80 M. Durchmesser; der die beiden Wände trennende Zwischenraum hat eine Weite von 0,3 M. und das darin befindliche Wasser wird häufig durch kranzförmige horizontale Platten, die an senkrechten eisernen Stäben befestigt sind und durch die Hülsen g, g, g, g, gehen, bewegt. Die Temperaturen des in jeder Hälfte des Mantels enthaltenen Wassers werden durch Thermometer angegeben, die in den Hülsen I und I angebracht sind. **KLM** und **K′L′M′** sind zwei senkrechte Canäle, an jeder der beiden Hälften des Raumes angebracht; sie sind oben offen und stehen jeder unten mit einer von den Oeffnungen N, P in Verbindung (Fig. 149), welche Oeffnungen in dem untern Theile einer jeden von den beiden Hälften des Mantels angebracht sind. Diese Canäle sind äußerlich durch tannene Breter gebildet und enthalten ihrer ganzen Höhe nach dicke Blechplatten, die senkrecht an der äußern Oberfläche des Mantels angelöthet sind; jede ist 0,10 M. hoch; sie hat eine Breite gleich der des Canales, und die Platten von einer und derselben horizontalen Reihe sind in der Mitte von den Zwischenräumen der Platten und der vorhergehenden und der folgenden Reihe angebracht; eben solche Platten befinden sich auch in den Oeffnungen N und P. **QR** und **Q′R′** sind zwei halbe Cylinder von Weißblech, die geschlossen und mit Wasser von der gewöhnlichen Temperatur angefüllt sind; sie dienen zum mehr oder weniger dichten Verschluß der Oeffnung **AF** in dem Raume. **ST** ist ein Dreifuß mit Schrauben, der mit drei Glasröhren versehen ist, die oben in kleine hölzerne Knöpfe auslaufen, in welche die Enden von den kupfernen Stangen treten, die an das untere Ende des Gefäßes, dessen Abkühlung man beobachten will, eintreten.

783. Die Figuren 151 und 152 stellen einen senkrechten und einen horizontalen Durchschnitt von einem kugelförmigen Gefäß mit seinem Agitator dar. Die Platten, die den Zweck haben, das Wasser umzurühren, sind auf sechs eiserne Halbkreise gelöthet, die durch den untern Theil an die Achse befestigt sind, und deren obere Enden in einem kleinen horizon-

talen Kreise endigen, in dessen Innerem der kleine durchbrochene Cylinder befindlich ist, der das Thermometer aufnimmt. Die cylindrischen Gefäße von großem Durchmesser sind auf dieselbe Weise eingerichtet (Fig. 153 und 154). Wenn die Cylinder aber nur einen kleinen Durchmesser haben, so ist der Agitator zur Seite des Cylinders, der den Thermometerbehälter enthält, angebracht (Fig. 155 und 156).

784. In den Figuren 157, 158, 159, 160 und 162 sind verschiedene Vorrichtungen dargestellt, welche dazu benutzt worden sind, in einem an dem Mantel angebrachten Rahmen senkrechte und horizontale Cylinder anzubringen. Diese Vorrichtung hatte den Zweck, die Cylinder vollkommen unbeweglich zu machen, während sich die Agitatoren bewegten. Die Rahmen bestehen aus Eisen oder aus Messing; die Stangen a., a., a., sind sehr dünn und bestehen ans Tannenholz; sie treten in sehr kleine, an die Gefäße angelöthete Behälter. Bei den horizontalen Cylindern drehte sich die Agitatorstange in einem Stöpsel, der einen Röhrenhals verschloß, und es befand sich zwischen der Stange und dem Stöpsel etwas Spielraum, durch den jedoch das Wasser nicht drang, da sich die in dem Gefäße gebliebene kleine Luftmenge ausdehnte, eine Ausdehnung, die von der Zusammenziehung des Wassers durch die Abkühlung herrührte.

Die Fig. 162 ist der Durchschnitt von einem cylindrischen Gefäß, welches in zwei Halbkugeln ausläuft und zwei Agitatoren enthält.

Wenn die Gefäße lang und eng sein mußten, so wendete der Verfasser Cylinder von gezogenem Eisen mit Quecksilber gefüllt an; der Agitator der Flüssigkeit war nicht mehr nöthig und ein in das Gefäß eingebrachtes Thermometer mit langem Behälter gab die Temperatur sehr genau an.

785. Die Fig. 163 stellt den kleinen Apparat dar, der zum Ablesen der Zahlen der Thermometerscala dient. Er besteht aus einer kleinen Platte a, b, die mit weißem Papier überzogen ist; c und d sind zwei Hülsen, durch welche die Thermometerstange geht; jede enthält einen kleinen Ring von Korkholz, den man mittelst einer Druckschraube mehr oder weniger zusammendrückt; in der Mitte der Platte a b befinden sich zwei unter einander parallele Stangen, die senkrecht auf der Ebene der Platte stehen und auf denen durch Schraubenköpfe zwei sehr feine Metalldrähte oder zwei Haare angebracht sind. Diese Fäden bestimmen eine Ebene, die senkrecht auf der Thermometerröhre steht und auf welche das Auge des Beobachters gebracht werden muß. Diese Einrichtung war wegen der Bewegung nöthig, die das Thermometer in Folge der Drehung des Agitators erleidet, eine Bewegung, welche die Benutzung eines Cathetometers nicht gestattete.

786. In Fig. 164 ist der Apparat dargestellt, der zur Füllung der Gefäße zu verschiedenen Zeiten ihrer Abkühlung dient, eine nothwendige Bedingung, damit die sich abkühlende Oberfläche constant bleibt. Die Aufgabe, welcher Genüge geleistet werden mußte, besteht darin, ein undurchsichtiges Gefäß, dessen Niveau gesunken ist, mit Wasser zu füllen, ohne das Gefäß aus dem Mantel mit constanter Temperatur zu nehmen und ohne von der Flüssigkeit Etwas überfließen zu lassen. Der Apparat besteht aus einer Glasröhre A B, die an beiden Enden offen und mit einer Kugel C versehen ist; zur Seite befindet sich eine andere Glasröhre D E F, die gekrümmt und ebenfalls an beiden Enden offen ist. Die Enden B und D haben dieselbe Höhe; die beiden Röhren sind mit ihren unteren Enden in einem Stöpsel

befestigt, der leicht in einen Röhrenhals an dem Gefäße tritt. Der Stöpsel ist an seinem obern Theile mit einer kleinen Messingplatte von größerem Durchmesser, als der des Röhrenhalses ist, versehen, so daß man den Stöpsel stets gleich tief eintreten lassen kann. Wenn der Stöpsel an seinem Platze ist, so befindet sich der Punkt B in der Höhe, welche die Flüssigkeit erreichen soll. Um nun das Gefäß zu füllen, nimmt man den beweglichen Stöpsel, welcher den Röhrenhals bildet, weg und ersetzt ihn durch den mit den Röhren versehenen Stöpsel; die Kugel C ist mit Wasser angefüllt und das Ende A wird mit den Fingern verschlossen; man bringt nun den Apparat an seinen Platz, nimmt den Finger weg und saugt an dem Ende F; es muß nun der Stand der Flüssigkeit in dem Gefäße die unteren Enden der Röhre erreicht haben, wenn man Wasser durch die Röhre DEF ansaugen kann. In diesem Augenblicke verschließt man das Ende A, nimmt den Apparat weg und bringt den gewöhnlichen Stöpsel in den Apparat.

787. Das Verfahren ist folgendes: das mit heißem Wasser angefüllte Gefäß wurde auf sein Support gestellt und der Mantel verschlossen; man regulirte die Oeffnung, aus der sich die Luft entwickelte in der Art, daß ihre Oberfläche fast gleich dem horizontalen Querschnitt des Gefäßes war. Der Agitator dieses letztern wurde ununterbrochen gedreht, und die des Mantels wurden von Zeit zu Zeit ebenfalls in Bewegung gesetzt. Man beobachtete die Zeit, welche das Thermometer gebrauchte, um eine geringe Anzahl von Theilungen zu sinken, und zwar geschah dies nur zu verschiedenen Zeiträumen. Die von dem Thermometer angegebenen Temperaturen wurden auf die zurückgeführt, welche vorhanden gewesen sein würde, wenn die ganze Röhre unter Wasser gesteckt hätte, indem man annahm, was durch die Versuche und durch die Berechnung bestätigt wurde, nämlich daß die Röhre genau die Temperatur der äußern Luft hatte. Man leitete nun aus diesen Versuchen die Abkühlungsgeschwindigkeit leicht ab.

788. Nachdem der Werth von v und folglich (776) die Werthe von M für Temperaturüberschüsse zwischen 25 und 65° gefunden worden waren, suchte sie der Verfasser durch eine einfache Formel zu vereinigen, und er fand als genügend die folgende:

$$M = at\,(1 + bt).$$

Diese Formel stimmt vollkommen mit der von Dulong und Petit in den von uns angegebenen Temperaturgrenzen erhaltenen überein, und es folgt daraus, daß diese Formeln sehr wahrscheinlich bis zu einem Temperaturüberschuß von 260° genau sind, wie die beiden genannten Physiker bestimmt haben.

Da die Erkaltung zu gleicher Zeit von der Strahlung und von der Berührung veranlaßt wurde, so ist es zur Bestimmung des Coefficienten der Formel erforderlich, die durch diese beiden Ursachen veranlaßten Wirkungen zu trennen. Der Verfasser hat zu dem Ende folgende Methode angewendet:

Man nehme an, daß M die durch ein mit Kienruß geschwärztes Gefäß verlorene Wärmemenge sei, M′ aber diejenige, welche durch dasselbe Gefäß mit glänzender Oberfläche verloren ist. Man bezeichne mit A die Wärmemenge, die durch die Berührung der Luft verloren geht und welche bei

beiden Oberflächen gleich ist, mit R und R' die durch die Ausstrahlung des geschwärzten und des nur metallenen Gefäßes bewirkte, so hat man

$$M = A + R \; ; \; M' = A + R' \; ; \text{ und folglich } M - M' = R - R'.$$

Nehmen wir jetzt an, daß $R = cR'$, so wird die letzte Gleichung werden:

$$M - M' = R' (c - 1) \; ; \text{ daher } R' = \frac{(M - M')}{c - 1} \; ;$$

und da $M = at (1 + bt)$, und $M' = a't (1 + b't)$, so wird der Werth von R sein

$$R' = \frac{a - a'}{c - 1} t + \frac{ab - a'b'}{c - 1} t^2.$$

Indem man nun den allgemeinen Ausdruck für den Werth von R' erhält, so läßt sich der von A' leicht ableiten, denn man hat $A = M' - R'$.

Um die Verhältnisse der Ausstrahlungen zu erlangen, hat der Verfasser folgendes Verfahren angewendet, welches auf einem von den Gesetzen von Dulong und Petit beruht. Zwei metallene Gefäße, die einerseits von einer ebenen senkrechten Fläche begrenzt und die entweder unbedeckt oder mit verschiedenen Substanzen überzogen sind, stehen einander in der Art gegenüber, daß ihre ebenen Oberflächen parallel und in gleichen Entfernungen von einer thermoelektrischen Säule befindlich sind, die mit einem sehr empfindlichen Rheometer in Verbindung steht. Eine von den Oberflächen wird in einer constanten Temperatur erhalten, während man die Temperatur der andern so verändert, bis die auf den beiden Flächen der Säule hervorgebrachten Wirkungen dieselben sind, d. h. bis der Zeiger des Rheometers auf 0 zurückkommt. Bezeichnet man nun mit m und m' die Strahlung der beiden Oberflächen und mit t und t' die Ueberschüsse ihrer Temperaturen über die von der Säule, so hat man nach Dulong und Petit für die strahlenden Wärmemengen:

$$ma^{\theta}\left(a^{t} - 1\right) \text{ und } m'a\left(a^{t'} - 1\right)$$

und da diese Größen gleich sind, so erhält man

$$c = \frac{R}{R'} = \frac{m}{m'} = \frac{a^{t'} - 1}{a^{t} - 1}.$$

Es folgen aus allen diesen Versuchen nachstehende Formeln:

789. Die durch Strahlung in einen Mantel emittirte Wärmemenge, dessen Temperatur wenig von 12° verschieden ist, und für Temperaturüberschüsse zwischen 25 und 65° wird durch nachstehende Formel gegeben:

$$R = Kt\,(1 + 0{,}0056t) \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \;(a)$$

K ist ein Coefficient, der von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängt, t ist der Temperaturüberschuß.

790. Die durch die Berührung der Luft unter denselben Umständen verlorene Wärmemenge wird durch die Formel gegeben:

$$A = K't\,(1 + 0{,}0075t) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (b)$$

K' ist ein Coefficient, der von der Form und den Dimensionen des Körpers abhängt; t ist der Temperaturüberschuß.

791. Wenn der Temperaturüberschuß gering ist, so kann man die Ausdrücke des zweiten Grades unberücksichtigt lassen, und man hat für die Gesammtmenge der emittirten Wärme:

$$M = R + A = (R + K')t = Qt\,.$$

Dies ist das Newton'sche Gesetz.

Die Formeln (a) und (b) sind nur durch den Temperaturüberschuß zwischen 25° und 65° bestimmt worden; für bedeutendere Temperaturüberschüsse müßte man sich der Formel von Dulong und Petit bedienen. Wir wollen daher diese Formeln auf eine allgemeine Weise ausdrücken und die Werthe der Coefficienten K und K' für die verschiedenen Oberflächen und die verschiedenen Körper nach den Resultaten unserer Versuche wiedergeben.

Allgemeine Formeln über die Emission der Wärme in die Luft.

792. Die Menge der von einer Oberfläche, die in einer constanten Temperatur erhalten wird, ausgeströmten Wärme hängt von der Ausstrahlung und der Berührung mit der Luft ab; wenn man daher mit M die gesammte in einer gewissen Zeit durch R und M ausgeströmte Wärmemenge bezeichnet, die von der Ausstrahlung und von der Berührung mit der Luft herkommt, so hat man:

$$M = R + A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

793. Die durch die Strahlung emittirte Wärme. — Die durch die Strahlung aus der Oberflächen- und Zeiteinheit ausgeströmte Wärme ist unabhängig von der Form und Größe des Körpers, vorausgesetzt, daß die Oberfläche keine zurücktretenden Theile hat; sie hängt nur von der Beschaffenheit der Oberfläche, von dem Ueberschuß der Temperatur über die der Umgebung und von dem absoluten Werthe dieser letztern ab.

794. Wenn ein Körper einen Mantel mit matter Oberfläche hat, wie es fast stets der Fall ist, wenn nicht die Untersuchungen im Laboratorium stattfinden, so wird die durch die Strahlung auf das Quadratmeter und in der Stunde emittirte Wärmemenge R durch die Formel gegeben:

$$R = 124{,}72 \cdot Ka^{\theta}\left(a^{t} - 1\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

in welcher θ die Temperatur der Umgebung, t den Ueberschuß der Temperatur über die der Umgebung, a eine constante Zahl = 1,0077 und K eine von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängende Zahl bedeutet.

Werthe von K für verschiedene Substanzen.

Polirtes Silber	0,13	Sägespäne	3,53
Versilbertes Papier	0,42	Kohlenpulver	3,42
Polirtes Messing	0,258	Feiner Sand	3,62
Vergoldetes Papier	0,23	Oelanstrich	3,71
Kupfer	0,16	Papier	3,77
Zink	0,24	Kienruß	4,01
Zinn	0,215	Bausteine	3,60
Polirtes Schwarzblech . .	0,45	Gyps	3,60
Verbleietes Blech	0,65	Holz	3,60
Gewöhnliches Blech . . .	2,77	Wollenstoff	3,68
Verrostetes Blech	3,36	Kattun	3,65
Neues Roheisen	3,17	Seidenstoff	3,71
Verrostetes Roheisen . . .	3,36	Wasser	5,31
Glas	2,91	Oel	7,24
Zerpulverte Kreide	3,32		

795. Bei Papier= und Zeugstoffen hat die Farbe keinen Einfluß. Man ersieht aus dieser Tabelle, daß die pulverförmigen Stoffe ein wenig verschiedenes Emissionsvermögen haben, wie auch schon anderweitig bewiesen worden ist.

796. Um die Berechnungen zu vermeiden, welche die Formel (2) erleidet, sind in der vorliegenden Tabelle die Wärmemengen angegeben,

Temperatur-Ueberschüsse.	Werthe von R.	Temperatur-Ueberschüsse.	Werthe von R.
10°	11,2 . K	130°	239,3 . K
	1,14 . K(t — θ)		1,87 . K(t — θ)
20	23,2 . K	140	269,5 . K
	1,18 . K(t — θ)		1,97 . K(t — θ)
30	36,1 . K	150	302,1 . K
	1,22 . K(t — θ)		2,06 . K(t — θ)
40	50,1 . K	160	339,0 . K
	1,28 . K(t — θ)		2,17 . K(t — θ)
50	65,3 . H	170	377,4 . K
	1,35 . K(t — θ)		2,27 . K(t — θ)
60	81,7 . K	180	418,5 . K
	1,43 . K(t — θ)		2,38 . K(t — θ)
70	99,3 . K	190	463,2 . K
	1,50 . K(t — θ)		2,50 . K(t — θ)
80	118,5 . K	200	511,2 . K
	1,55 . K(t — θ)		2,62 . K(t — θ)
90	138,7 . K	210	563,1 . K
	1,59 . K(t — θ)		2,75 . K(t — θ)
100	161,3 . K	220	619,0 . K
	1,65 . K(t — θ)		2,88 . K(t — θ)
110	185,3 . K	230	679,5 . K
	1,72 . K(t — θ)		3,03 . K(t — θ)
120	211,3 . K	240	744,8 . K
	1,80 : K(t — θ)		3,24 . K(t — θ)
130	239,3 . K	250	848,7 . K

welche durch die Strahlung auf das Quadratmeter und in der Stunde für verschiedene Temperaturüberschüsse emittirt worden sind, wobei die Umgebungen zu 15° angenommen wurden, wie es gewöhnlich in geheizten Räumen der Fall ist. Da man ohne wesentlichen Irrthum annehmen kann, daß die ausgeströmte Wärmemenge gleichmäßig mit der Temperatur in einem Zwischenraume von 10° zunimmt, so hat der Verfasser die Formeln in die Tabelle gesetzt, welche die emittirten Wärmemengen im Verhältniß zu den Temperaturüberschüssen darstellt.

Wenn die Temperatur der Umgebung wäre

0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90° 100°,

so müssen die Zahlen in der vorhergehenden Tabelle multiplirt werden durch

0,89 0,96 1,04 1,12 1,21 1,31 1,41 1,52 1,65 1,78 1,92.

797. **Die durch die Berührung mit der Luft transmittirte Wärme.** — Der durch die Berührung mit der Luft veranlaßte Wärmeverlust ist unabhängig von der Beschaffenheit der Körperoberfläche und von der Temperatur der Umgebung. Er hängt nur von dem Temperaturüberschusse des Körpers über den der Umgebung, sowie von der Form und den Dimensionen des erstern ab. Dieser Wärmeverlust auf das Quadratmeter und in der Stunde ist durch die Formel gegeben:

$$A = 0{,}552 K' t^{1{,}233} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

in welcher t den constanten Temperaturüberschuß des Körpers über die Temperatur der Umgebung und K' eine Zahl darstellt, welche mit der Form und den Dimensionen des Körpers verschieden ist.

798. Für die kugelförmigen Körper hat man:

$$K' = 1{,}778 + \frac{0{,}13}{r} ;$$

wobei r den Halbmesser der Kugel darstellt. Nimmt man nach und nach für r

0,5 M. 0,10 M. 0,20 M. 0,40 M. 0,80 M.,

so findet man für K' die folgenden Werthe:

4,38 3,08 2,43 2,10 1,94.

799. Für die horizontalen Cylinder mit kreisförmiger Basis hat man

$$K' = 2{,}058 + \frac{0{,}0382}{r} ,$$

wobei r den Cylinderhalbmesser bezeichnet. Nimmt man nach und nach für r

0,05 M. 0,10 M. 0,15 M. 0,20 M. 0,25 M. 0,30 M. 0,40 M.,

so findet man für K'

2,82 2,44 2,30 2,25 2,21 2,18 2,15.

800. Bei den senkrechten Cylindern hängt die Abkühlung von ihrer Höhe und ihrem Durchmesser ab und der Werth von K' ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$K' = \left\{0{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{r}}\right\} \left\{2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{h}}\right\}.$$

In dieser Formel ist r der Halbmesser des Cylinders und h seine Höhe.

801. Die nachstehende Tabelle enthält die Werthe von K' für eine gewisse Zahl von Höhen und Durchmessern.

Halbmesser der Cylinder.	Höhe der Cylinder.						
	0,50 M.	1 M.	2 M.	3 M.	4 M.	5 M.	10 M.
0,025 M.	3,55	3,20	2,95	2,84	2,79	2,73	2,62
0,05 "	3,22	2,90	2,68	2,57	2,52	2,48	2,38
0,10 "	3,05	2,75	2,54	2,44	2,39	2,35	2,26
0,20 "	2,93	2,65	2,45	2,35	2,30	2,26	2,17
0,30 "	2,88	2,60	2,40	2,31	2,26	2,22	2,13
0,40 "	2,85	2,57	2,37	2,28	2,23	2,20	2,11
0,50 "	2,83	2,55	2,36	2,26	2,22	2,18	2,09

802. Für die ebenen senkrechten Oberflächen ist der Werth von K' durch die empirische Formel gegeben, wobei h die senkrechte Höhe der Oberfläche:

$$K' = 1{,}764 + \frac{0{,}636}{\sqrt{h}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

803. Die nachstehende Tabelle giebt die Werthe von K' für verschiedene Werthe von h.

Werthe von h.	Werthe von K'.	Werthe von h.	Werthe von K'.
0,10 M.	3,848	2 M.	2,21
0,20 „	3,186	3 „	2,13
0,30 „	2,926	4 „	2,08
0,40 „	2,770	5 „	2,05
0,50 „	2,66	10 „	1,96
0,60 „	2,585	15 „	1,92
1 „	2,400	20 „	1,90

804. Die nachstehende Tabelle enthält die auf das Quadratmeter und in der Stunde für verschiedene Temperaturüberschüsse emittirten Wärmemengen und ebenso wie bei der Tabelle (796) die Formeln, welche für Zwischenräume von 10°, die Wärmemengen, die im Verhältniß zu dem Temperaturüberschuß emittirt sind, angeben.

Temperatur-Ueberschüsse.	Werthe von A.	Temperatur-Ueberschüsse.	Werthe von A.
10°	9,4 . K'	130°	223,1 . K'
	1,05 . K'(t — θ)		1,74 . K'(t — θ)
20	22,2 . K'	140	244,3 . K'
	1,176. K'(t — θ)		1,76 . K'(t — θ)
30	36,6 . K'	150	266,1 . K'
	1,27 . K'(t — θ)		1,79 . K'(t — θ)
40	52,2 . K'	160	288,1 . K'
	1,34 . K'(t — θ)		1,81 . K'(t — θ)
50	68,6 . K'	170	310,5 . K'
	1,40 . K'(t — θ)		1,83 . K'(t — θ)
60	86,0 . K'	180	333,2 . K'
	1,46 . K'(t — θ)		1,85 . K'(t — θ)
70	104,0 . K'	190	356,1 . K'
	1,51 . K'(t — θ)		1,88 . K'(t — θ)
80	122,6 . K'	200	379,4 . K'
	1,55 . K'(t — θ)		1,90 . K'(t — θ)
90	141,7 . K'	210	402,9 . K'
	1,59 . K'(t — θ)		1,92 . K'(t — θ)
100	161,5 . K'	220	426,7 . K'
	1,63 . K'(t — θ)		1,95 . K'(t — θ)
110	181,5 . K'	230	450,7 . K'
	1,67 . K'(t — θ)		1,97 . K'(t — θ)
120	202,1 . K'	240	475,0 . K'
	1,70 . K'(t — θ)		1,99 . K'(t — θ)
130	223,1 . K'	250	498,6 . K'

805. Man ersieht aus diesen beiden Tabellen (796 und 804), daß die Newton'sche Formel durchaus ungenau ist; statt daß die Coefficienten der Werthe von R und A constant bleiben, sind sie für Temperaturüberschüsse zwischen 0° und 250° verschieden, der erste in dem Verhältniß von 1 zu 3,24, der zweite in dem von 1 zu 2. Das Newton'sche Gesetz kann nur für geringe Temperaturüberschüsse Geltung haben.

806. Resumirt man das Vorhergehende, so erhält man für die Werthe von M

$$M = R + A = 124{,}72 K a^{\theta}\left(a^{t} - 1\right) + 0{,}552 K' t^{1{,}233} \quad \ldots . (8)$$

Man könnte aber stets bei allen Anwendungen die Werthe von R und von A nach den Tabellen (796 und 804) berechnen; man würde auf diese Weise durch sehr einfache Berechnungen sehr genügende Annäherungen erlangen.

807. Wir wollen diese Formeln auf einen häufig vorkommenden Fall anwenden, auf den horizontaler gußeiserner Röhren, die durch Dampf von 100° erwärmt werden, während die umgebende Temperatur 15° ist.

Für $r = 0{,}05$ M. hat man $M = 128{,}6 \cdot 3{,}36 + 132{,}15 \cdot 2{,}82 = 432 + 373 = 805$
„ $r = 0{,}10$ „ „ $M = 128{,}6 \cdot 3{,}36 + 132{,}15 \cdot 2{,}44 = 432 + 322 = 774$
„ $r = 0{,}15$ „ „ $M = 128{,}6 \cdot 3{,}36 + 132{,}15 \cdot 2{,}26 = 432 + 299 = 731$

Die entsprechenden Mengen der verdichteten Dämpfe sind 1,50, 1,44 und 1,34 Kilogr. Diese Zahlen sind etwas kleiner als die durch unmittelbare Beobachtung gegebenen, wahrscheinlich wegen des von dem Dampfe mechanisch mit fortgerissenen Wassers.

808. Bei einem blechernen Cylinder von 1 M. Durchmesser, der in einem Raume von 20° befindlich ist und Dampf von 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 Atmosphären umschließt, waren die Temperaturunterschiede von

80° 101° 115° 125° 133° 140° 146° 152°

und die Mengen der auf das Quadratmeter und in der Stunde durchgelassenen Wärmemengen würden sein:

671 915 1015 1224 1355 1428 1523 1649.

809. Bei einer blechernen horizontalen Röhre von 0,125 M. Halbmesser, die Luft von 150° enthält, während die äußere Luft 15° ist, würde man haben

$$M = 254 \cdot 2{,}77 + 233 \cdot 2{,}37 = 703 + 552 = 1255.$$

Einfluß der Umgebungen auf die Wärmeemission.

810. Einfluß der von allen Seiten geschlossenen Mäntel. — Wenn ein mit Wasser angefülltes Gefäß mit mehreren Mänteln umgeben ist, die auf allen Seiten geschlossen sind und deren Luft nicht erneuert werden kann, so vermindert sich die Menge der durchgelassenen Wärme mit

der zunehmenden Anzahl der Mäntel nach einem Gesetze, welches wenigstens annähernd angegeben werden kann.

Denken wir uns ein mit Wasser angefülltes blechernes Gefäß, welches zuvörderst mit einem einzigen Mantel umgeben ist, der genau verschlossen und von der Oberfläche des Gefäßes weit genug entfernt ist, damit sich die Luft in dem Zwischenraume leicht bewegen kann. Bezeichnen wir mit S und mit S′ die Oberflächen des Gefäßes und des Mantels, mit t und t′ die Ueberschüsse ihrer Temperaturen über die der Luft, nehmen wir an, daß die Wärmetransmission nach dem Newton'schen Gesetz stattfinde, welches hinlänglich genau ist, sobald die Temperaturüberschüsse wenig beträchtlich sind. Wenn die Temperatur des Gefäßes constant bleibt, so werden die von dem Gefäß und dem Mantel ausgeströmten Wärmemengen (791) $Q(t - t')\,S$, und QtS', und da diese Mengen gleich sein müssen, so wird man haben

$$S(t - t') = S't' \text{ ; daher } t' = t \cdot \frac{S}{S + S'} .$$

Die von dem Gefäß emittirte Wärme M, welche ohne Mantel QSt war, wird werden:

$$M = Q\,\frac{SS't}{S + S'} .$$

811. Wenn das Gefäß mit zwei Mänteln umgeben war und man die Oberflächen mit S, S', S'', die Temperaturüberschüsse mit t, t', t'' bezeichnet, so werden die Mengen der durch das Gefäß durch den ersten und den zweiten Mantel emittirten Wärmemengen $QS(t - t')$, $QS'(t' - t'')$ und $QS''t''$ sein. Da diese Mengen unter einander gleich sind, so findet man für den Werth von t'' und für die emitirte Wärmemenge

$$t'' = \frac{SS't}{SS'' + SS' + S'S''} \text{ ; und } M = Q\,\frac{SS'S''t}{SS'' + SS' + S'S''} .$$

812. Wenn das Gefäß mit drei Mänteln versehen wäre, so würde man für die Menge der emitirten Wärmemenge finden:

$$Q = M \cdot \frac{SS'S''S'''t}{SS'S'' + SS''S''' + S'S''S''' + SS'S''} .$$

813. Bei irgend einer Anzahl n von Mänteln würde die Menge der emitirten Wärme gleich derjenigen sein, welche durch das freie Gefäß ausströmt, multiplicirt mit dem Product der Oberflächen aller Mäntel, dividirt durch die Summe der Producte n — 1 bei n — 1 Oberflächen des Gefäßes und der Mäntel.

814. Der Verfasser hat einige Versuche angestellt, um die Genauigkeit dieser Formeln zu untersuchen, und er hat dabei Resultate erlangt, die sehr gut mit dem Calcul übereinstimmen. Zuvörderst hat er ein cylindrisches weißblechernes Gefäß angewendet, dessen Enden aus zwei Kegeln bestanden. Die Mäntel waren aus demselben Material und hatten die-

selbe Form, und die Zwischenräume zwischen denselben betrugen 0,005 M. Die Oberflächen des Gefäßes und der Mäntel befanden sich in dem Verhältniß von 260, 320, 420, 480 und 560. Unter denselben Umständen betrugen die Wärmemengen, die von dem Gefäß allein und dann nach und nach von den 1, 2, 3 und 4 Mänteln emittirt wurden:

1 0,59 0,44 0,34 0,31 ,

während die aus den Formeln hervorgehenden sind

1 0,57 0,41 0,33 0,28.

815. Wenn die Mäntel wenig von einander verschieden wären, und wenn man sie als gleich betrachtete, so würde die Differenz der Temperaturen zweier auf einander folgender Mäntel constant sein und man würde für den Temperaturüberschuß t′ des letzten Mantels und für die Wärmemenge haben

$$t' = \frac{1}{n+1} \text{ ; und } M = Q \cdot \frac{St}{n+1} .$$

Diese Gleichheit würde erlangt werden, wenn das Gefäß nur Wärme mittelst einer ebenen Oberfläche ausströmte und wenn über derselben hinaus eine Reihe von Oberflächen vorhanden wäre, die durch einen schlechten Wärmeleiter gehalten würden. Wenn die Mäntel sehr groß und einander nahe genug sind, so kann man die Unterschiede ihrer Oberflächen ebenfalls unberücksichtigt lassen.

816. Wenn die Mäntel ein sehr verschiedenes Ausstrahlungsvermögen haben, so werden die Berechnungen verwickelt und bieten nicht mehr so viel Sicherheit dar. Es soll hier nur eine Reihe von Versuchen erwähnt werden, die mit demselben Gefäß, von dem der Verfasser geredet hat, angestellt worden sind; es hatte einen schwarzen Firnißüberzug und war mit weißblechernen Mänteln versehen. Zuerst war das Gefäß ohne und dann nach und nach mit 1, 2, 3 und 4 Mänteln versehen; es waren die unter diesen Verhältnissen emittirten Wärmemengen:

1 0,38 0,35 0,30 0,25.

817. Dasselbe Gefäß von Weißblech, jedoch ohne Mantel, wurde der Luft ausgesetzt und dann unter eine Glasglocke gestellt; die ausgeströmten Wärmemengen verhielten sich wie 1 zu 0,78; die Oberfläche des Gefäßes betrug 0,026 Quadratmeter und die der Glocke 0,032 Quadratmeter. Bei demselben Gefäß, mit Kienruß überzogen, und bei derselben Glocke war das Verhältniß das von 1 zu 0,50. Bei Glocken von 0,0446 und 0,0611 Q.-M. waren die Resultate im Wesentlichen gleich. Bei einer Glocke von 0,1350 war das Verhältniß das von 1 zu 0,61. Man kann daher annehmen, daß wenn die Körper kein bedeutendes Ausstrahlungsvermögen haben, die Menge der emittirten Wärme fast um die Hälfte durch einen Glasmantel vermindert wird, dessen Oberfläche das Dreifache der Körperoberfläche nicht übersteigt.

818. Dasselbe weißblecherne Gefäß, mit einem schwarzen Lack überzogen, wurde nach und nach unter eine, zwei, drei, vier Glasglocken gestellt, die durch Zwischenräume von 0,005 M. von einander getrennt waren, während die ausgeströmten Wärmemengen unter gleichen Umständen 1; 0,50; 0,34; 0,30 waren. Wenn man über das Gefäß die beiden letzten Glocken stellte, so belief sich die ausgeströmte Wärmemenge auf 0,42. Jede von den bei diesen Versuchen angewendeten Glasglocken war oben mit einer Oeffnung versehen, durch welche die Thermometerröhre ging, deren Behälter in dem mit Wasser gefüllten Gefäß untertaucht. Das letztere stand auf einem hölzernen Tische, auf welchem eine Wattdecke lag. Es waren die nothwendigen Vorsichtsmaaßregeln getroffen, daß durch die Oeffnungen in den Glocken keine Luft strömen konnte.

819. Die sich auf die mehrfachen Mäntel beziehenden Formeln können nur dann im Wesentlichen bestimmt werden, wenn die Mäntel in gehöriger Entfernung von einander befindlich sind, und wenn sich die Luft in den sie trennenden Räumen leicht bewegen kann. Stehen sie einander sehr nahe, so nimmt die transmittirte Wärmemenge mit ihrer Anzahl nach einem weit weniger geschwinden Gesetz ab. Dieses Resultat steht dem erwarteten gerade entgegen, da es den Anschein hat, als werde die Luft bei ihren Transmissionsbewegungen von einem Mantel zum andern gehindert, während dieselbe nur von der Strahlung abhängt; in Folge der unbeweglichen Luft findet aber auch eine directe Transmission statt, die ebenfalls in Rechnung gebracht werden muß. Wir werden weiter unten die sich auf diesen Fall beziehenden Formeln kennen lernen.

820. Einfluß der oben offenen Mäntel auf den untern Theil. — Die Mäntel, von denen die Rede ist, halten die von der Ausstrahlung veranläßte Abkühlung ab, allein sie beschleunigen die von der Berührung mit der Luft herrührende, indem sie die Geschwindigkeit ihrer Circulation vermehren. Um den Einfluß dieser Mäntel auf die Erkaltung zu erkennen, hat der Verfasser unter denselben Verhältnissen die Abkühlung eines geschwärzten Gefäßes beobachtet, wenn es ohne Mantel oder wenn es nach und nach mit ein, zwei, drei und vier an beiden Enden offenen Blechcylindern versehen war, deren Durchmesser nur um 0,01 M. stieg. Diese Cylinder waren in der Art aufgehängt, daß die Luft leicht eindringen konnte. Bei einem und demselben Sinken des Thermometers in dem Gefäß und bei derselben äußern Temperatur waren 13′3″; 19′57″; 16′46″; 15′44″ und 15′40″ erforderlich. Mit einem weißblechernen Cylinder, dessen Durchmesser den des Gefäßes um 0,3 M. überstieg, war die Dauer der Abkühlung 17′44″.

Es folgt daraus, daß für die Körper, die ein bedeutendes Emissionsvermögen haben, cylindrische Mäntel von gleicher Höhe, die an beiden Enden offen sind, die Erkaltung verzögern. Es verhält sich aber anders, wenn die Geschwindigkeit der Luft in dem durch den Körper gebildeten ringförmigen Raume durch die Verlängerung der Mäntel oder durch irgend eine andere Ursache vermehrt würde. Die Geschwindigkeit der Erkaltung könnte nicht allein die der Körper ohne Mantel übertreffen, sondern sie könnte auch mit der Geschwindigkeit der Luftcirculation auf irgend eine unbestimmte Weise zunehmen. Wenn das Gefäß aus polirtem Metall besteht, so beschleunigt ein einziger Mantel die Erkaltung; die übrigen sind ohne Einfluß.

Wärmeemission in die Luft durch Röhren.

821. **Wärmeemission in die Luft, welche eine Röhre durchläuft, deren Oberflächen in einer constanten Temperatur erhalten worden sind.** — Denken wir uns eine metallische Röhre, deren Oberfläche in einer constanten Temperatur erhalten ist und durch welche ein Luftstrom geht; denken wir uns, daß alle elementaren Ströme im Wesentlichen gleiche Geschwindigkeit haben, oder daß eine senkrecht auf der Röhrenoberfläche stehende Luftschicht am Anfang genommen ihre Form beibehält, während sie die Röhre durchströmt. Bei dieser Strömung wird die Peripherie dieser Schicht die Temperatur der Röhre haben, und es wird sich die Wärme von der Peripherie zum Mittelpunkte fortpflanzen; nach einer gewissen Zeit wird die Luftschicht im Wesentlichen die Temperatur der Röhre haben; wenn sie in diesem Augenblick nicht die ganze Länge der Röhre durchlaufen hat, so wird der Rest ihres Laufes offenbar ohne Einfluß sein. Wenn bei dem Ausgange der Röhre die Wärme nicht Zeit gehabt hat, sich bis zur Mitte fortzupflanzen, so wird die mittlere Temperatur der Schicht um so höher sein, je länger sie in der Röhre geblieben ist. Die Temperatur der ausströmenden Luft wird daher von der Ausströmungsgeschwindigkeit und von der Länge der Röhre abhängen.

Wir haben angenommen, daß die Röhre kreisrund und daß die Luftschicht stets von zwei Ebenen eingeschlossen sei; aber alles das Gesagte ist auch für eine Röhre von irgend welcher Form und ungeachtet des stets stattfindenden Geschwindigkeits-Unterschiedes der elementaren Ströme richtig. Dagegen wird die Zeit, welche dazu erforderlich ist, daß der mittlere Theil des Stromes die Temperatur der Peripherie annimmt, mit der Differenz der Geschwindigkeit zunehmen. Wir fügen hinzu, daß wenn die Röhre horizontal oder mehr oder weniger geneigt ist, die Wärmevertheilung nicht allein von der Transmission durch die Luft, sondern auch von den Bewegungen, die aus der Erwärmung der Luft erfolgen, abhängt. Man sieht daher, wie die durch Erwärmung der Luft, welche eine Röhre mit constanter Temperatur durchströmt, veranlaßten Erscheinungen verwickelt sind. Man kann jedoch aus dem Vorhergehenden einige allgemeine Grundsätze entwickeln, die unter gewissen Umständen von Nutzen sind.

1) Wenn ein Luftstrom durch eine Röhre geht, die in einer constanten Temperatur erhalten wird, welche die der Luft übersteigt, indem man annimmt, daß die anfänglich sehr kleine Geschwindigteit nach und nach zunimmt, so wird die Luft mit der Temperatur der Röhre bis zu einer gewissen Grenze der Geschwindigkeit, die von den Umgebungen der Röhre, von ihrem Querschnitt und von den Ungleichheiten der verschiedenen elementaren Ströme abhängt, ausströmen. Diese Geschwindigkeit wird in dem Maaße zunehmen, als die Röhre einen kleinern Querschnitt haben wird. Es ist unmöglich vorauszusehen, ob unter denselben Bedingungen diese Geschwindigkeit größer oder kleiner sein wird, wenn die Röhre senkrecht oder horizontal ist, weil in dem ersten Falle die aus der Erwärmung der Wände zunehmende Geschwindigkeit die innere Luft aufsaugt, während im zweiten Fall die mit der untern Oberfläche in Berührung stehenden Luftschichten fortwährend verdrängt werden, Umstände, welche beide die Wärme zu vertheilen suchen.

2) Wenn die besprochene Geschwindigkeitsgrenze erreicht ist, so ent-

weicht die Luft mit einer abnehmenden Temperatur, weil bei jeder Schicht die Temperatur von der Peripherie zur Mitte abnimmt, und zwar um so mehr, je größer die Geschwindigkeit der Luft ist; allein die von der Luft mit weggeführte Wärmemenge vermehrt sich mit ihrer Geschwindigkeit; es ist dies eine durch Versuche bestätigte Thatsache, die sich sehr leicht erklärt, wenn man annimmt, daß die Summe der in jeder Schicht fortgepflanzten Wärmemenge sehr schnell mit der Zeit zunimmt, denn da die Anzahl der in der Zeiteinheit ausgeströmten Schichten der Geschwindigkeit proportional ist, und da die Aufenthaltszeit einer jeden Schicht im umgekehrten Verhältniß zu der Geschwindigkeit steht, während die sich in einer Schicht fortpflanzende Wärmemenge mit der Zeit sehr schnell steigt, so nimmt die mit der Luft weggeführte Wärme mit der Geschwindigkeit zu.

822. In der Praxis kann man als hinreichende Annäherung annehmen, daß die durch die Röhre ausgeströmte Wärmemenge im Wesentlichen gleich der ist, die sie in der freien Luft durch die Berührung mit der Luft bei einer mittlern Temperatur, zwischen der am Eingange und am Ausgange ausströmenden haben würde. Der Verfasser hat diesen Grundsatz mittelst eines cylindrischen Gefäßes von 0,40 M. Höhe und 0,20 M. Durchmesser bestätigt; durch die Mitte desselben geht ein Canal von 0,10 M. Durchmesser, dessen Oberflächen sämmtlich mit Papier bedeckt waren. Dabei wurde die Abkühlung bei offenem und bei verschlossenem Canal beobachtet, und es wurde gefunden, daß in diesem letztern Fall der Wärmeverlust etwa die Hälfte von dem der mittlern Röhre in der freien Luft betrug.

823. W ä r m e e m i s s i o n i n d i e L u f t, w e l c h e e i n e n C a n a l d u r c h s t r ö m t, d e r e i n e i n e i n e r c o n s t a n t e n T e m p e r a t u r e r h a l t e n e R ö h r e u m s c h l i e ß t. — Dieser Fall hat die größte Aehnlichkeit mit dem vorhergehenden, jedoch wird die Diffusion der Wärme schneller bewirkt, weil die concentrischen Luftschichten von der Oberfläche in dem Maaße zunehmen, als sie mehr von der Röhrenoberfläche entfernt sind, und da die innere Oberfläche des Canals durch Strahlung erwärmt ist, sie auch die Luftschichten in umgekehrter Richtung von der Erwärmung durch die Röhre erhitzt. Hier sowie in dem vorhergehenden Falle giebt es eine Geschwindigkeitsgrenze, unter welcher die Lufterwärmung vollständig ist und über welche hinaus die Temperatur der Luft abnimmt, obgleich die mit weggeführte Wärme mit der Geschwindigkeit zunimmt.

824. In dem Falle, um den es sich hier handelt, kann man annähernd für die emitirte Wärmemenge diejenige annehmen, welche die Röhre in freier Luft in der mittlern Temperatur zwischen der Ein- und der Ausströmung ausströmen würde.

825. Wir lassen hier die Resultate zweier Versuche folgen, die in einem pariser Gefängniß angestellt worden sind, um die senkrechten und horizontalen Röhren, welche heißes Wasser enthalten und die in einem Canal liegen, durch den die zu erwärmende Luft strömt, mit einander vergleichen zu können.

Bei den senkrechten Röhren von 0,11 M. Durchmesser, die eine Oberfläche von 1,20 Q.-M. haben, betrug die in der Stunde bis auf 60° erwärmte Luftmenge 52 Q.-M.

Für horizontale Röhren von 0,135 M. Durchmesser mit einer Oberfläche von 2,30 Q.-M. betrug das in der Stunde auf 60° erwärmte Luftvolum 34 Q.-M. Nach diesen Versuchen scheint es, daß senkrecht stehende

Röhren mehr Wärme auf die Luft übertragen als horizontale. Es ist wahrscheinlich, daß die Röhren Wasser von wesentlich gleicher Temperatur enthielten; allein es hätte auch angegeben werden müssen, wie die die Röhren umgebenden Canäle eingerichtet waren, denn wenn die horizontalen Canäle in dem Boden angebracht waren und der senkrechte Canal in einer Mauer, oder wenn er hervortrat, so würden die durch die Wände des Canals transmittirten Wärmemengen beobachtete Differenzen hervorgebracht haben; der Querschnitt der Canäle konnte auch von Einfluß sein. Es läßt sich daher nichts Sicheres aus diesen Versuchen ableiten.

Zweites Capitel.

Transmission der Wärme durch feste Körper.

826. Wenn ein fester Körper mit zwei parallelen Flächen geendigt ist, die in constante, aber verschiedene Temperaturen auslaufen, so geht durch den Körper ein constanter Wärmestrom, der in directem Verhältniß zu der Oberfläche und zu der Temperatur beider Flächen und im umgekehrten Verhältniß zu der Entfernung dieser Flächen steht. Dieses Gesetz läßt sich aus der Beschaffenheit der Wärmebewegung selbst ableiten. Denken wir uns eine gleichartige Platte von einer Dicke e, deren Oberfläche gleich der Einheit ist, und deren Flächen in constanten Temperaturen t und t′ erhalten werden. Nehmen wir an, daß die Dicke der Platte in eine große Anzahl sehr dünner Schichten getheilt sei, so würde die ganze Platte, durch welche offenbar in derselben Zeit eine Wärmemenge geht, die gleich der ist, welche irgend einen Theil der Platte durchströmt, dieselbe Wärmemenge zu gleicher Zeit durch jede von den fraglichen Schichten geben. Da nun bei einem und demselben Körper die mitgetheilte Wärmemenge nicht von der Dicke und von dem Temperaturüberschuß abhängen kann, und da die Dicken gleich sind, so folgt nothwendig daraus, daß die Temperaturüberschüsse der Flächen dieselben sind und daß folglich in der Dicke der Platte die Temperatur gleichförmig von t und t′ veränderlich ist. Da aber die Wärmemenge, welche durch eine Schicht geht, gleich der ist, welche durch irgend eine Anzahl von Schichten strömt, da die Temperaturdifferenzen der äußersten Flächen im Verhältniß zu der Anzahl von Schichten stehen, und da dasselbe bei den Dicken stattfindet, so kann die fragliche Gleichheit nur so lange bestehen, als der Wärmestrom im Verhältniß zu dem Temperaturüberschuß und im umgekehrten Verhältniß zu der Dicke steht; man hat daher:

$$M = \frac{C(t - t')}{e} = (t - t') : \frac{e}{C} .$$

Bei diesem Ausdruck bezeichnet M die durch die Einheit der Oberfläche

und in der Einheit der Zeit transmittirte Wärmemenge, t und t' die Temperaturen der beiden Flächen, e die Dicke der Platte und C die Leitungsfähigkeit des Materiales, d. h. der Werth von M für t und $t' = 1$ und für $e = 1$.

Diese Formel ist durch Versuche bestätigt.

Wir untersuchen nun hinter einander die Leitungsfähigkeit der Körper, welche gute Wärmeleiter sind, d. h. der Metalle, und dann die der schlechten Wärmeleiter.

Die Leitungsfähigkeit der Metalle.

827. Wenn eine Metallstange mit ihrem einen Ende in einer constanten Temperatur erhalten wird, so pflanzt sich die Wärme in derselben fort und verliert sich durch ihre Oberfläche. Nimmt man an, daß die Stange lang genug sei, so daß die Wärme nicht zu ihrem Ende gelangen könne, und daß sie einen hinreichend kleinen Durchschnitt habe, so daß alle Punkte desselben Durchschnitts gleiche Temperatur haben, so findet man leicht das Calcul für den Temperaturüberschuß y eines Querschnitts über den der Luft, in einer Entfernung x von dem Ende den Ausdruck:

$$y = Ae^{-x\sqrt{\frac{ph}{Cs}}}$$

in welchem A den constanten Temperaturüberschuß des erhitzten Endes über die Temperatur der Luft, s den Durchschnitt der Stange, p den Umriß des Querschnitts, h den Erkaltungs-Coefficienten und C die Leitungsfähigkeit des Stabes bezeichnen.

828. Biot hat die Richtigkeit dieser Formel durch zahlreiche Versuche bestätigt; später hat Despretz neue Versuche angestellt, wodurch die Biot'schen bestätigt sind, so daß die Verhältnisse der Leitungsfähigkeit der Metalle bestimmt werden könnten, welche folgende sind:

Gold . . .	1000	Eisen	374
Platin . . .	981	Zink	363
Silber . . .	973	Zinn	303
Kupfer . . .	898	Blei	179

829. Es können jedoch diese Zahlen nicht als sehr genau angesehen werden, zuvörderst, weil das Gesetz von Newton, auf welcher die Formel 827 beruht, sich zu weit von der Wahrscheinlichkeit entfernt, wenn die Temperaturüberschüsse bedeutend sind, und außerdem, weil die Temperaturen der verschiedenen Punkte an den Stäben gemessen worden sind, indem man Löcher in dieselben bohrte, welche die Thermometergefäße aufnahmen. Dadurch werden aber Verengungen in den Stäben verursacht, was einen gewissen Einfluß auf die Resultate haben muß.

830. Die von Despretz gefundenen Zahlen, die nur Verhältnisse bezeichnen, könnten zu keiner Berechnung bei den Anwendungen benutzt werden, wenigstens so lange man nicht den absoluten Werth der Leitungsfähigkeit von einem dieser Metalle kennt. Der Verfasser hat daher eine

große Anzahl von Versuchen gemacht, und es sollen nun der dabei angewendete Apparat und die mit demselben erlangten Resultate mitgetheilt werden.

Ein cylindrisches, mit Wasser angefülltes und mit einem schlechten Wärmeleiter umgebenes Gefäß ist mit einer Metallplatte bedeckt, deren Umfang von den Wänden des Gefäßes durch den Korkring getrennt ist. Die innere Oberfläche der Platte wird mit Dampf erhitzt, und man bemerkt die Erwärmung des Wassers, welches fortwährend durch einen Agitator in Bewegung gesetzt wird. Indem man annimmt, daß die die Platte durchströmende Wärmemenge im Verhältniß zu der Temperaturdifferenz dieser beiden Flächen steht, so hat man, indem man berücksichtigt, daß diese Wärmemenge proportional der Abkühlungsgeschwindigkeit ist (776),

$$dT = -aTdt; \text{ und } m \log T = C - at$$

wobei m das Modul der Logarithmentafeln 2,3025 und T die Temperaturdifferenz nach der Zeit t ist. Wenn man mit A die t entsprechende Temperatur gleich 0 annimmt, so muß man, da man in diesem Falle $T = A$ haben muß, $C = m \log. A$ finden, und die Formel giebt:

$$a = \frac{m}{t} (\log A - \log T) ;$$

und da die Logarithmen die der Tafeln und a die Erkaltung ist, welche in einer Secunde bei einem Temperaturüberschuß von 1° sein würde. Zwei Beobachtungen geben einen Werth von a und die Identität aus den verschiedenen zu zweien vereinigten Beobachtungen abgeleiteten Werthe bestätigten die Genauigkeit des angenommenen Gesetzes. Es haben diese Versuche, die mit Platten von Kupfer, Blei, Zinn, Zink, Stab- und Gußeisen wiederholt worden sind, gleiche Resultate gegeben. Anfänglich war der Verfasser sehr erstaunt darüber, daß die Werthe von a für diese verschiedenen Metalle wesentlich dieselben waren, mochte ihre Dicke auch noch so verschieden sein, indem sie von 1 bis 20 Millimeter schwankte. Bei allen diesen Versuchen hatte der Verfasser einen sehr merklichen Verlust der Rotationsgeschwindigkeit des Agitators bemerkt; der Werth von a vermehrte oder verminderte sich mit dieser Geschwindigkeit. Berücksichtigte man nun außerdem, daß der Dampf durch seine Verdichtung die untere Oberfläche der Platte mit einer fast stagnirenden Wasserschicht bedecken mußte, so war es sehr wahrscheinlich, daß bei diesen Versuchen die durch den Dampf erhitzte Oberfläche der Platte nicht 100° hatte, und daß die andere Oberfläche noch weniger die von dem Thermometer angegebene Temperatur besaß. Die Wärme durchströmte wirklich eine Metallschicht zwischen zwei Wasserschichten, von denen die eine im Wesentlichen unbeweglich war, während sich die andere nur langsam erneuerte, und da die Leitungsfähigkeit des Wassers im Verhältniß zu der der Metalle sehr gering ist, so verschwand der Einfluß der Leitungsfähigkeit des Metalles.

831. Um sich von der Richtigkeit dieser Folgerung zu überzeugen, unterließ der Verfasser die Erwärmung mit Dampf; er füllte das obere Gefäß mit Wasser von 0° an und tauchte die Platte, die es unten verschloß, um 1 bis 2 Millimeter in ein mit Wasser von gewöhnlicher Temperatur angefülltes Gefäß. Der innere Agitator wurde mit Haarbän-

dern versehen, welche bei der Bewegung die Oberfläche der Platte streiften und das die andere Seite befeuchtende Wasser wurde mittelst eines Bandes von Fäden erneuert, die in einem horizontalen Quadrat ausgespannt waren, dem man eine schnelle hin und her gehende Bewegung ertheilte. Durch diese Einrichtung wurde das Wasser in dem Gefäße nur sehr langsam erwärmt und die Flüssigkeit, welche die Fläche der Platte befeuchtete, konnte sehr schnell erneuert werden. Bei der Anwendung von Bleiplatten mit Dicke zwischen 0,001 und 0,025 M. haben sich die Werthe von a von 0,00060 bis auf 0,00025 verändert. Die anderen Metalle haben gleiche Resultate gegeben.

Der Verfasser ist daher der Meinung, daß wenn man die Geschwindigkeit der Erneuerung der Flüssigkeiten, welche die beiden Flächen der Platten berühren, erhöht, und wenn man dicke Platten von Metall mit der geringsten Leitungsfähigkeit annimmt, man zu Coefficienten gelangen wird, die in umgekehrtem Verhältniß der Dicken stehen.

832. Der Verfasser construirte einen neuen Apparat, in welchem der innere Agitator durch ein Räderwerk in Bewegung gesetzt wurde; der äußere Agitator bestand aus einem horizontalen, zu dem Gefäß excentrischen Rade, welches ebenfalls durch ein Räderwerk in Bewegung gesetzt wurde, und dessen Halbmesser aus stark gespannten Säulen bestanden, die bei der Rotationsbewegung gegen die äußere Oberfläche der Platte rieben.

Die Fig. 165 giebt einen senkrechten Durchschnitt von diesem letztern Apparat; die Fig. 166 einen horizontalen Durchschnitt, und die Fig. 167 nach einem größern Maaßstabe den untern Theil des Gefäßes. ABCD ist ein weißblechernes Gefäß, welches unten durch die Metallplatte E verschlossen ist, deren Einrichtung Fig. 167 nachweist. Dieses Gefäß enthält eine kupferne Röhre mit in verschiedenen Höhen angebrachten Schaufeln und am untern Theil Haartücher. Die Röhre wird bei ihrer Bewegung durch zwei Ringe geleitet, welche sie umgeben und die in ihrer Stellung durch die Stangen III und I′I′I′ erhalten werden; oben ist sie mit einem kleinen Zahnrade versehen, welches mittelst der Kurbel M′ in Bewegung gesetzt wird.

Das Gefäß wird durch einen Deckel verschlossen, dessen Ränder eingekittet sind und durch den die Röhre geht, welche die Flügel zum Umrühren der Flüssigkeit enthält; dieser Deckel ist mit einem Ringe O versehen, der in 1 Centimeter Entfernung über der Röhre aufgehängt ist, indem man einen Stöpsel anbringt, durch den die Thermometerröhre geht, dessen Kugel sich fast in der Mitte des Gefäßes befindet, und der während der Bewegung des Agitators fest bleibt. A′B′C′D′ ist ein zweites, das erstere umgebendes Gefäß, mit welchem es durch drei Glasstäbe F,F,F, verbunden ist; es ist mit gekratzter Baumwolle angefüllt und mit drei Schraubenfüßen V,V,V, versehen, die auf den Supports NN stehen, die an dem untern Gefäß GG angelöthet sind. Das Gefäß A′B′C′D′ trägt das Zahnrad mit Kurbeln, welches mit dem Getriebe der mittlern Röhre in Eingriff steht. Endlich enthält das Gefäß G,G, ein horizontales Rad R,R, dessen Flügel von Schnüren bei ihrer Bewegung die untere Platte E reiben; dieses Rad wird durch das Getriebe P, das Zahnrad U und die Kurbel M in Bewegung gesetzt, deren Welle durch die Stopfbüchse H geht.

Mittelst dieses Apparates konnte die Flüssigkeit, die mit den Flächen der Metallplatte in Berührung stand, 1600 mal in der Minute erneuert

werden; indem man in das offene Gefäß Wasser von fast 24° und in das untere Gefäß Wasser von gewöhnlicher Temperatur brachte und Bleiplatten anwendete, von denen die eine 0,020 und die andere 0,015 M. dick war, und die sich übrigens in gleichen Verhältnissen befanden, betrug die Dauer derselben Erwärmung desselben Gefäßes 500 Secunden für die erstere Platte und 380 Secunden für die zweite; diese letztere Zahl ist nur um 5 Secunden von den drei Viertel der ersten verschieden. Man kann daher das Gesetz von den Platten als direct bestätigt betrachten.

Bei diesen Versuchen war die mittlere Temperatur des äußern Bades 24,04° und unterschied sich von der äußersten Temperatur nur durch einen kleinen Bruchtheil von 1°; die Temperaturüberschüsse zu Anfang und Ende der Versuche waren 8,99° und 8,55°. Es betrug daher die durch die Platte von 0,020 M. mitgetheilte Wärmemenge 0,000294 in der Minute. Das Gewicht des in dem Gefäß eingeschlossenen Wassers, vermehrt um das Gewicht des Gefäßes, multiplicirt durch die Wärmecapacität belief sich auf 3,287 Kilogr., und es würde daher die durch die Platte bei einer Temperaturdifferenz von 1° mitgetheilte Wärmemenge gleich sein

$$0{,}000294 \times 3{,}287 = 0{,}000966;$$

und da die Platte 0,005026 Quadratmeter Oberfläche hatte, so mußte die Anzahl der Wärmeeinheiten, die unter gleichen Umständen durch 1 Q.-M. mitgetheilt wurden, sein:

$$0{,}000966 \times \frac{1}{0{,}005026} = 0{,}192,$$

und für eine Platte von 1 M. Dicke und während einer Stunde würde diese Zahl betragen:

$$0{,}192 \,.\, 0{,}02 \cdot 3600 = 13{,}83.$$

833. Nimmt man nun die von Despretz gefundenen Verhältnisse der Leitungsfähigkeit der Metalle an, so erhält man die folgenden Zahlen für die Wärmemengen, die in einer Stunde durch Platten von 1 Q.-M. Oberfläche, von 1 M. Dicke und deren Oberflächen in constanten Temperaturen, die um 1° differirten, erhalten worden wären, durchgelassen worden sind:

Gold . . .	77	Eisen . . .	28
Platin . . .	75	Zink . . .	28
Silber . . .	74	Zinn . . .	22
Kupfer . . .	69	Blei . . .	14

Allein diese Leitungsfähigkeiten sind unter eigenthümlichen Umständen erhalten, die in der Praxis nie vorkommen. Nach den älteren Versuchen von Clement wird eine Kupferplatte von 1 Q.-M. Oberfläche, von 2 bis 3 Millimeter Dicke, die auf der einen Seite mit Dampf von 100° und auf der andern Seite mit Wasser von 28° in Berührung steht, in einer Stunde 100 Kilogr. Dampf für eine Temperaturdifferenz von 72° ver-

dichten und folglich 1,30 Kilogr. für eine Differenz von 1°. Nach den neueren Versuchen von Thomas und Laurens, bei denen das Kupfer in einer einzigen Röhre von kleinem Durchmesser bestand, hat man in der Stunde 400 Kilogr. Wasser und auf das Quadratmeter für eine Temperaturdifferenz von 45° abgedampft, welches 9 Kilogr. bei einer Temperaturdifferenz von 1° beträgt; die von Thomas und Laurens erhaltene Zahl ist weit höher, als die von Clement erlangte; weil die Transmissionsoberfläche eine Röhre von kleinem Durchmesser war, so fand eine vollständige Vertreibung der Luft statt, ein Umstand, welcher die Menge des verdichteten Dampfes wesentlich vermehrte.

Man sieht, daß selbst unter den günstigsten Umständen die für die Transmission der Wärme durch Kupfer erhaltene Zahl, sobald die Flüssigkeit, welche die Oberflächen befeuchtet, nicht erneuert wird, weit kleiner ist als die aus den angeführten Versuchen hervorgehenden, und zwar wegen der wesentlich unbeweglichen Wasserschicht, welche wenigstens eine von den Oberflächen bedeckt.

834. Obgleich daher die von den Physikern angenommenen Gesetze der Wärmetransmission durch Platten genau sind, so sind diese Gesetze doch nicht bei der Transmission der Wärme einer Flüssigkeit auf eine andere durch eine Metallplatte anwendbar; man kann annehmen, daß innerhalb der allgemein angenommenen Grenzen der Dicke, die Beschaffenheit und die Dicke des Metalles ohne wesentlichen Einfluß sind. Wenn es aber in gewissen Fällen sehr vortheilhaft wäre, diese Transmission selbst mit Kraftanwendung zu vermehren, so würde man dahin durch ein Umrühren gelangen, wodurch die mit den Oberflächen der Platten in Berührung stehenden Flüssigkeitsschichten sehr erneuert werden.

Bei dem Vorhergehenden ist angenommen, daß die beiden Oberflächen der Platten in Berührung mit den Flüssigkeiten stehen, und daß sie folglich nicht zur Erwärmung der Flüssigkeit durch Flüssigkeiten oder durch Dampf benutzt werden können, denn der Dampf befeuchtet die Plattenoberflächen, indem er sich an denselben condensirt und das Ganze steht in demselben Verhältniß, als wenn die Erhitzung durch eine Flüssigkeit bewirkt würde. Wenn aber die Flüssigkeiten durch Gase erwärmt werden, und diese Gase durch andere Gase, verhält es sich dann ebenso? Dies wollen wir nun jetzt untersuchen.

835. Wir wollen zuvörderst von der Erwärmung der Flüssigkeiten durch die Gase reden. Dies ist z. B. der Fall bei den Dampfkesseln, wenigstens für den Theil von den Kesseln, welche die Strahlung des Heerdes nicht aufnimmt. Der Verfasser kennt keine directen Versuche über diesen Gegenstand, allein die in der Praxis erlangten Resultate lassen daran nicht zweifeln, daß wenn die Beschaffenheit und die Dicke des Metalles einen Einfluß haben, er sehr gering ist; denn man hat es seit langer Zeit erkannt, daß Kessel von Gußeisen, von Kupfer und von Eisenblech, von gleichen Dimensionen, bei denen aber die Metallstärke sehr verschieden ist, im Wesentlichen dieselben Producte unter gleichen Umständen geben. Es ist dies eine Thatsache, über welche die Ingenieure gleicher Meinung sind. Man kann sich jedoch davon sehr leicht Rechenschaft geben. Wenn die Dicke des Metalles zunimmt, oder seine Leitungsfähigkeit abnimmt, so steigt die Temperatur seiner äußern Oberfläche; dies ist eine sehr gut bestätigte Thatsache, denn bei den gußeisernen Kesseln wird die äußere Oberfläche oft roth-

glühend, und bei den blechernen Kesseln nimmt die Veränderung, welche sie durch Einwirkung der Wärme erleiden, mit ihrer Dicke zu; da aber die Wärmemenge, welche transmittirt wird, mit der Temperatur der äußern Oberfläche steigt, so begreift man, daß der Einfluß der Beschaffenheit und der Dicke des Metalles ein sehr geringer sein muß. Es ist dies übrigens durch die neueren Versuche von Boutigny bestätigt; indem er Wasser in silbernen Schalen von gleicher Form und von gleichen äußeren Dimensionen, aber von sehr verschiedenen Dicken verdampfen ließ, waren die Mengen des unter gleichen Umständen und in gleicher Zeit abgedampften Wassers genau dieselben.

836. Wenn die Wärmetransmission eines Gases auf ein anderes Gas durch eine Metallplatte bewirkt wird, so kann man, da bei gleichem Volum die Gase eine weit geringere specifische Wärme als die Flüssigkeiten haben, und da ihre Leitungsfähigkeit sehr gering ist, den Einfluß der Beschaffenheit und der Dicke der Platte als absolut gleich 0 ansehen, vorausgesetzt, daß die die Platte durchströmende Wärmemenge, selbst unter den ungünstigsten Verhältnissen verhältnißmäßig viel größer als die wirklich durchströmende ist, und es kann daher in keinem Falle die Dicke des Metalles die Transmission verzögern. Die Wärmemenge, welche die Platte durchströmt, wird nur durch die Temperaturdifferenz der beiden Gase, ferner durch die absorbirenden und emittirenden Kräfte der beiden Oberflächen der Platte und besonders durch die Bewegungen der Gasschichten bestimmt, die mit den Oberflächen der Metallplatte in Berührung stehen. Man sieht daher, daß in allen Fällen die schnelle Erneuerung der Schichten der Flüssigkeiten oder Gase, welche die Oberflächen der Metallplatte berühren, einen sehr großen Einfluß auf die Wärmetransmission hat, daß aber dieser Umstand weit wichtiger für die Gase als für die Flüssigkeiten ist.

837. Man muß daher diejenige Einrichtung der Apparate suchen, welche für diese Erneuerung die günstigste ist; mag dieselbe nun allein durch die Einwirkung der Bewegungen, welche die Flüssigkeiten annehmen müssen, um in die Apparate zu gelangen und aus denselben auszufließen, oder durch diejenige bewirkt werden, welche aus der Erwärmung und Erkaltung hervorgeht. Bei den Gasen kann man aber auch künstlich in ihren Massen Bewegungen hervorbringen, die eine schnelle Erneuerung der mit den Metalloberflächen in Berührung stehenden Schichten verursachen, sei es nun durch eine directe Wirkung, die nur eine geringe Kraft beansprucht, oder indem man einen Theil der Kraft benutzt, welche durch den Ausfluß entsteht.

838. Wir wollen z. B. mit einer hohen Temperatur verbrannte Luft annehmen, die in einem hohen cylindrischen Canal strömt, der mit Wasser umgeben ist, welches er erhitzen soll. Die mit dem Metall in Berührung stehenden Luftschichten erkalten sehr schnell; allein da alle kleinen elementaren Strahlen nur eine der Achse des Canales parallele Geschwindigkeit haben, so müssen die Schichten nur sehr langsam den Platz verwechseln; denn die einzige Ursache der Veränderung besteht in der Zunahme der Dichtigkeit, welche aus der Erkaltung erfolgt; sie existirt auch nur für die obere Hälfte des Canales und sucht auch nur diese Bewegung mit einer geringen Geschwindigkeit hervorzubringen. Es würde aber offenbar dasselbe bei jeder andern Richtung des Canales stattfinden. Man begreift daher, daß wenn der Querschnitt des Canales sehr groß ist, und die Ausströmungs-

geschwindigkeit der verbrannten Luft ebenfalls, der größte Theil der mittleren Strahlen mit der Umgebung nicht in Berührung gekommen ist, und daß sie ihre ursprüngliche Temperatur beibehalten haben. Wenn man aber in dem Canal Schaufelräder anbrächte, die eine gemeinschaftliche Achse haben und durch irgend einen Motoren in Bewegung gesetzt sind, so würden die centralen Strahlen auf die innere Oberfläche des Cylinders geworfen werden, und man würde alsdann eine weit größere Abkühlung der Gase erhalten. Die Bewegung der Gase von der Mitte zur Peripherie könnte selbst durch Uebertragungsbewegung der Gase hervorgebracht werden; es würde zu dem Ende hinreichen, in dem Canale eine gewisse Anzahl Schaufelräder anzubringen, die zur Achse wie die Windmühlenflügel geneigt wären. Diese Apparate, denen die Translation der Gase eine gewisse Drehungsgeschwindigkeit ertheilen würde, müßten offenbar die Wirkung der Schaufelräder hervorbringen, deren Ebenen durch die Achse der Rotation gehen.

839. Man könnte auch die Transmission der Wärme durch ein anderes Verfahren vermehren, welches in gewissen Fällen sehr wirksam sein könnte.

Wir sahen, daß man bei der Wärmetransmission durch eine Platte die Absorption von einer der Flächen, die Emission durch die andere und die Transmission durch die Platte unterscheiden müsse. Wir wissen nun, daß unter den gewöhnlichen Umständen die Wärmemenge, welche die Platte mittheilen kann, weit geringer als die ist, welche sie absorbiren oder ausströmen kann. Es folgt daraus, daß wenn man, statt Platten von verschiedenen Formen anzuwenden, sich solcher bedient, durch welche Stäbe gehen, die bis auf eine gewisse Tiefe in die beiden Flüssigkeiten oder Gase untertauchen, von denen die eine die andere erwärmen soll, man die Ausdehnung der mit den beiden Flüssigkeiten in Berührung stehenden Oberflächen und folglich den erlangten Nutzeffect vermehren würde; das würde aber um so mehr der Fall sein, wenn die mit den Oberflächen der Stäbe in Berührung stehenden Flüssigkeitsschichten durch die Translationsbewegung der Flüssigkeiten fortwährend erneuert würden.

Wir wollen z. B. einen horizontalen Canal betrachten, durch den verbrannte Luft strömt, welche die Luft erhitzen soll, die man in entgegengesetzter Richtung in einen umgebenden Canal strömen läßt; wenn die Oberfläche des innern Canales der Quere nach liegende Metallstäbe hat, die sich auch auf eine gewisse Länge nach außen verlängern, und wenn sie nicht in denselben Ebenen liegen, so werden sich die inneren Theile der Stäbe ihrer ganzen Ausdehnung nach erhitzen, und diese Wärme wird sich auf die äußeren Oberflächen fortpflanzen. Der verbrannte Luftstrom könnte gleichförmig an allen Punkten seines Querschnittes erkalten, und die Wärme würde an allen Punkten des Querschnittes von dem äußern Luftstrom mitgetheilt werden. Diese Einrichtung kann von Nutzen sein, besonders wenn es von Wichtigkeit ist, die Transmission in einem kleinen Raume zu bewirken, allein sie hat oft Nachtheile, entweder in Beziehung auf die Construction der Apparate oder wegen der Schwierigkeit, die Absorptions- oder Emissionsflächen zu reinigen.

840. Dem Prinzip nach ist es jedesmal, wenn Wärme aus einem sich bewegenden Körper in den andern übergehen soll, von Wichtigkeit, daß sich der letztere in entgegengesetzter Richtung bewege, denn in dem Maaße,

wie der warme Körper vorwärts geht, trifft er den Körper, dem er seine Wärme mittheilen soll, mit einer niedrigern Temperatur, und die Transmission dauert fort, welches aber nicht der Fall sein würde, wenn der Körper eine Bewegung in gleicher Richtung hätte. Wir wollen z. B. zwei concentrische Röhren betrachten, während durch deren innere Röhre warme Luft oder warmes Wasser strömt; der Zwischenraum zwischen den beiden Röhren, der gleichen Querschnitt wie die innern Röhre haben soll, wird von kaltem Wasser oder von kalter Luft, jedoch in entgegengesetzter Richtung durchströmt. Wenn die Röhren eine sehr große Länge und die Flüssigkeiten eine sehr geringe Geschwindigkeit haben, so ist es klar, daß ein vollständiger Temperaturaustausch bei dem Ausströmen der Luft oder des Wassers stattgefunden hat, während, wenn die beiden Flüssigkeiten eine gleiche Richtung hatten, so daß die eine erkalten, die andere sich erhitzen mußte, ihre Temperaturen sich fortwährend nähern und damit endigen würden, einander gleich zu sein, und von diesem Punkte ab würde die Transmission aufhören.

Leitungsfähigkeit der Körper, welche schlechte Wärmeleiter sind.

841. Bei schlechten Wärmeleitern ist aber das Verhältniß anders als bei den Metallen; in fast allen Fällen übertragen sie alle Wärme, welche sie wirklich mittheilen können, und es ist daher von Wichtigkeit, ihre Leitungsfähigkeit zu kennen.

Despretz ist der einzige Physiker, der sich mit der Leitungsfähigkeit von einigen dieser Körper beschäftigt hat. Versuche, die über die Fortpflanzung der Wärme durch Stäbe von Marmor, Porzellan und gebranntem Thon angestellt worden sind, haben für das Verhältniß der Leitungsfähigkeit dieser Körper 23,6; 12,2; 11,4 gegeben. Allein dieses Verfahren giebt, unabhängig von den Ursachen der Irrthümer, die wir erwähnt haben (829), als wir von der Leitungsfähigkeit der Metalle sprechen, auch diejenige, welche aus der Hypothese von der Gleichförmigkeit der Temperatur in allen Punkten eines und desselben Querschnittes hervorgeht, eine Hypothese, welche sich um so mehr von der Wahrheit entfernt, als der Körper ein schlechter Wärmeleiter ist. Uebrigens geben die Resultate dieser Versuche, indem man sie als vollständig genau annimmt, nur Verhältnisse an, die in der Anwendung keinen Werth haben.

842. Die von dem Verfasser früher mitgetheilten Resultate über die von der Leitungsfähigkeit der Körper angestellten Versuche waren nicht in allen Fällen hinreichend. Es sind diese Untersuchungen wieder aufgenommen und dabei andere und genauere Methoden angewendet worden; in dem Folgenden soll das Allgemeine darüber gesagt werden.

843. Bei dem erstern, von dem Verfasser angewendeten Verfahren war der schlecht leitende Körper zwischen Kugeln von dünnem Kupferblech eingeschlossen; die innere Kugel war mit warmem Wasser angefüllt, welches fortwährend umgerührt wurde, und die äußere Kugel befand sich in einem Wasserbade, welches eine große Wassermasse von gewöhnlicher Temperatur enthielt, die in der Nähe der Kugel fortwährend umgerührt wurde. Es folgt aus dem Calcul, daß für gewisse Verhältnisse zwischen den Temperaturen der verschiedenen Punkte der sphärischen Umgebung zu Anfang der Ver-

suche, denen die Körper, die nicht gar zu schlechte Wärmeleiter sind, entsprechen, die Erkaltung des warmen Wassers dem Gesetz von Newton folgt; aus dem Coefficienten der Leitungsfähigkeit kann man aber den der Erkaltung leicht ableiten. Für Quarzsand, Pulver von Acajouholz und Stärkekleister befolgte die Abkühlungsgeschwindigkeit genau das angegebene Gesetz, und der Verfasser konnte die Werthe für die Leitungsfähigkeit dieser Substanzen erlangen. Bei der Baumwolle und dem Kohlenpulver aber befolgte die Abkühlung ein weit schnelleres Gesetz, und die Versuche haben zu nichts Sicherem geführt; bei der Baumwolle war die Abkühlungsgeschwindigkeit unter gleichen Verhältnissen im Wesentlichen dieselbe für Dichtigkeiten zwischen 0,0077 und 0,076, und es hat der Verfasser daraus folgern müssen, daß die Leitungsfähigkeit der Baumwolle unabhängig von ihrer Dichtigkeit und folglich, daß die Leitungsfähigkeit der Holzfaser wesentlich dieselbe wie die stagnirende Luft ist.

844. Die Fig. 168 stellt einen senkrechten Durchschnitt von dem Apparate dar. ABCD ist ein kupferner Rahmen, der in einem Gefäße von verbleitem Eisenblech angebracht ist; das Gefäß ist mit Wasser von gewöhnlicher Temperatur angefüllt. Auf der untern Stange BC befinden sich 3 horizontale Zahnräder E,F,G (Fig. 169); das erstere E erhält eine drehende Bewegung durch die senkrechte Spindel HI, die mit dem untern Theile in der Mitte des Rades befestigt und oben mit der Kurbel K versehen ist; L ist eine Hülse, welche die Spindel hält. Das Rad G ist in der Mitte mit einer kreisrunden Oeffnung versehen, durch welche die feste Hülse M geht, in welcher die Spindel N befindlich ist, die man an der Oberfläche der äußern Kugel festgelöthet und die den Zweck hat, sie zu halten. Das Rad G ist mit einem horizontalen Kreise (Fig. 170) mit 8 Radien versehen, von denen jeder eine Kupferplatte P hat, die um 45° geneigt ist; an ihrer Peripherie befinden sich 8 senkrechte Stangen Q,Q, die unter einander am obern Theile durch einen andern horizontalen Kreis verbunden sind. An einer jeden von diesen Stangen befestigt man mit Schrauben Theile von den Kreisen RR, R'R', die mit einer großen Menge kleiner, geneigter Kupferplatten versehen sind, deren Seiten der äußern Oberfläche der kugelförmigen Oeffnung sehr nahe stehen. S,S, ist ein Cylinder von Kupferblech, der an dem obern Theile der äußern Kugel festgekittet ist; er bedeckt 3 Hülsen, die mit der innern Kugel in Verbindung stehen. Durch die eine geht die Thermometerröhre, durch die andere die Agitatorstange, und die dritte, gewöhnlich verschlossene, kann einen Stöpsel aufnehmen, der mit den Röhren versehen ist, durch welche man das innere Gefäß anfüllt, sobald sich der Wasserstand in demselben vermindert hat. Die äußere Oberfläche der kleinen Kugel und die innere der großen sind mit Kienruß überzogen. Die Oberfläche der äußern Kugel besteht aus zwei Theilen, die durch Ineinandergreifen vereinigt werden; die Fugen werden mit Wachs verdichtet. Thermometer, die in den Figuren nicht dargestellt sind, gaben die Temperatur des Wassers in dem Bade nicht an. Während der ganzen Dauer des Versuchs wurde das innere Wasser durch eine Vorrichtung umgerührt, die ähnlich der ist, welche bei den Versuchen über die Abkühlung (782) angewendet worden ist, und das äußere Wasser mittelst der Kurbel K. Die Abkühlungsgeschwindigkeit wurde wie bei den Versuchen über die Abkühlung der Luft gemessen, und indem man auf dieselbe

Weise die sich auf das Wasser beziehenden Correctionen machte, welches man vor jeder Beobachtung in das Gefäß gebracht hatte, um es voll zu erhalten.

845. Bei dem zweiten Verfahren bediente sich der Verfasser eines cylindrischen Mantels, der aus dem Körper bestand, dessen Leitungsfähigkeit er messen wollte. Der Cylinder wurde im Innern mit Dampf erhitzt und seine Oberfläche war der Luft in dem Mantel von constanterer Temperatur ausgesetzt, der bei den Versuchen über die Abkühlung der Luft angewendet wurde. Nachdem Alles gehörig hergestellt worden war, mußte die Wärmemenge, welche den Mantel umströmt, offenbar gleich der sein, welche durch ihre Oberfläche entweicht. Nun existirt aber ein sehr einfaches Verhältniß zwischen den Mantelcylindern, der Temperatur des Dampfes, der der äußern Oberfläche des Mantels, der der umgebenden Luft, dem Abkühlungscoefficienten der äußern Oberfläche und der Leitungsfähigkeit des Mantelmateriales. Alle diese Größen können leicht gemessen werden, mit Ausnahme der Temperatur der Manteloberfläche. Auf die Art ihrer Bestimmung werden wir weiter unten zurückkommen.

846. Die Fig. 171 stellt die allgemeine Einrichtung des Apparates dar. Für pulverförmige Substanzen wendete der Verfasser einen Cylinder a,b,c,d von 0,20 M. Höhe und von einem veränderlichen Durchmesser an, der mit Papier überzogen und über dem eine Röhre e,f, angebracht, die oben mit einem Stöpsel verschlossen war, durch welche die Röhre eines Thermometers ging, dessen hundertster Grad die obere Fläche des Stöpsels nur wenig überragte; diese Röhre war seitwärts mit einer Röhre f,g, versehen, welche mit einem Gefäße, in welchem sich Dampf entwickelte, in Verbindung stand. Mit seinem obern Theile war das Gefäß mit einer Röhre h,i,k, festgelöthet, die bei i eine Biegung hatte, und deren Zweck es war, das von der Verdichtung des Dampfes und von dem überschüssigen Dampf herrührende Wasser abfließen zu lassen. In 2 Centimeter Entfernung unter dem Cylinder a,b,c,d, war die Röhre h,i, mit drei horizontalen eisernen Stäben von 0,02 M. Breite versehen, die den Zweck hatten, eine hölzerne Platte l,m, zu tragen, die man einbrachte, indem man die horizontale Röhre i,k, wegnahm, und indem man die Stäbe der Röhre durch entsprechende Spalten in der Platte führte; durch eine kleine drehende Bewegung wurde die Platte unterstützt. Vor ihrer Einführung hatte man an dem obern Theile der Platte einen sehr dünnen Glascylinder r,p,q, befestigt, der an beiden Enden offen war und denselben Durchmesser wie die Platte hatte; er wurde mittelst eines Papierstreifens festgehalten, der zu gleicher Zeit an dem Glase und dem Holze festgeleimt war. Der Glascylinder war auf seiner ganzen Oberfläche mit weißem Papier überzogen, und das Papierblatt ragte an beiden Enden etwa um 0,10 M. hervor. Die Substanz, mit welcher der Versuch angestellt werden sollte, wurde zwischen die beiden Cylinder a,b,c,d, und m,p,r,q, eingebracht, und den Papiercylinder, welcher die beiden Verlängerungen des Glascylinders bildete, füllte man mit cardirter Baumwolle an. Der Apparat, den wir beschreiben, war in dem Raume mit constanter Temperatur, der auch bei den Versuchen über die Abkühlung angewendet wurde, mittelst der Stangen s,t, aufgehängt, welche sich auf die Ränder der Oeffnung in dem Raum stützten. Man ließ in den weißblechernen Cylinder oft mehrere Stunden lang Dampf ein, um gehörig überzeugt zu sein, daß Alles in Ordnung war.

847. Die Temperatur der Cylinderoberfläche wurde auf folgende

Weise erhalten: ein Band von sehr dünnem Eisen von 0,01 M. Breite und 2 M. Länge war mit seinen beiden Enden an zwei Bänder von Kupferblech von gleichen Dimensionen festgelöthet; eine von den Löthungen und die anliegenden Theile des Cylinders lagen gegen den Glascylinder, die anderen auf der Oberfläche eines cylindrischen Gefäßes M, welches Wasser enthielt, dessen Temperatur man leicht verändern konnte, und das einen Agitator und einen Thermometer enthielt. Endlich konnten die beiden freien Enden des Kupferbandes mit einem sehr empfindlichen Rheometer N in Verbindung gesetzt werden. Wollte man nun die Temperatur der Cylinderoberflächen messen, so schloß man die Kette und steigerte die Temperatur des Wassers in dem Gefäß, bis der Rheometerzeiger auf den Nullpunkt zurückging; in diesem Augenblick hatten beide Löthungen gleiche Temperatur, und es war folglich die der Cylinderoberfläche gleich der des Wassers in dem Gefäß. Um die Löthungen an der Oberfläche der beiden Cylinder zu befestigen, wendete man ein 0,2 M. breites baumwollenes Band an, welches das metallische Band umgab und es auf einem sehr großen Theile von dem Umfange des Cylinders festhielt; das Band wurde durch eine Schnalle gespannt erhalten und die freien Enden der Metallbänder gingen durch Einschnitte in dem baumwollenen Bande. Das Thermometer, welches den Zweck hatte, die Temperatur des in dem Gefäße eingeschlossenen Wassers anzugeben, dessen Oberfläche in Berührung mit der zweiten Löthung der Kette stand, war horizontal angebracht, um die Grade leichter ablesen zu können; die Röhre wurde durch ein senkrecht darunter angebrachtes Bret erhalten; man konnte $0{,}02^0$ sehr leicht bestimmen; das Gefäß wurde mit einer Spirituslampe erwärmt. Der Ruhmkorff'sche Rheometer war empfindlich genug, um $^1/_{20}{}^0$ Unterschied zwischen beiden Löthungen anzugeben.

848. Der umgebende Glascylinder war wegen seiner geringen Dicke und wegen der großen Leitungsfähigkeit des Gefäßes ohne Einfluß. Der Verfasser hat auch eine Papierhülle auf drei Cylinder von Weißblech von gleicher Achse, mit denselben Halbmessern und 0,01 M. Höhe angewendet, welche durch zwei schmale Streifen von Weißblech festgehalten wurden (Fig. 172). Der Weißblechstreifen gestattete die dichte Spannung des Metallbandes, welches zur Messung der Temperatur der Cylinderoberfläche bestimmt war. Dieses Verfahren hat dieselben Resultate gegeben, wie das mit dem Glascylinder.

849. Bei festen Körpern, wie Marmor und anderem Gestein, wendete der Verfasser Hohlcylinder an, die im Innern einen Oelanstrich und äußerlich einen Papierüberzug hatten. Um sich besser zu überzeugen, daß das Wasser das Material nicht durchdringen konnte, wurde am Häufigsten die äußere Oberfläche mit Zinnfolie, die mit Mehlkleister aufgeklebt war, überzogen. Die Cylinder waren an beiden Enden mit einer Kautschukplatte und mit Holzscheiben geschlossen. Bei hölzernen Cylindern wie bei weißblechernen gelangte der Dampf von oben in dieselben und strömte unten aus. Unten wurden sie unterstützt und an beiden Enden mittelst Papiercylindern, die mit Baumwolle angefüllt waren, isolirt (Fig. 173). Bei Holz hat der Verfasser dieselbe Einrichtung angewendet, wenn die Leitungsfähigkeit senkrecht auf die Fasern beobachtet werden sollte; um sie aber parallel zu beobachten, wendete er Cylindertheile an, deren Oberflächen senkrecht auf den

Fasern standen; sie waren sehr fest zwischen dem mit Papier überzogenen Weißblechcylinder zusammengedrückt und es hatte dieser denselben Halbmesser, wie der innere Cylinder der hölzernen Umgebungen.

850. Papier und Stoffe wurden auf einen weißblechernen Cylinder gewickelt, der stets mit Papier überzogen war, und man hielt sie durch einen Streifen starkes Papier fest, der eine doppelte Höhe von dem des Cylinders hatte und der selbst durch das Metallband und durch ein dasselbe umgebendes Baumwollenband festgehalten wurde (174).

851. Die Leitungsfähigkeit wird dnrch die nachstehende Formel ausgedrückt:

$$C = \frac{QR'm\,(t'' - t''')\,(\log R' - \log R)}{t' - t''}.$$

In dieser Formel ist C die Leitungsfähigkeit der Substanz; R,R' sind die Halbmesser des innern und des äußern Cylinders; m = 2,2035; t',t'',t''' die Temperaturen des Dampfes der äußern Oberfläche von dem Mantel und von der Luft; Q repräsentirt den Wärmeemissionscoefficienten und ist gleich der Summe K + K' (791), und es wird jeder von den Werthen K und K' mit dem der Temperatur entsprechenden Coefficienten der Temperatur multiplicirt (796. 804.).

852. Bei den letzten Versuchen wendete der Verfasser länglich viereckige, senkrechte Platten an, die an ihren Rändern isolirt worden waren; eine von den Flächen wurde mit Dampf erhitzt, und die andere der freien Luft in einem Raume mit constanter Temperatur ausgesetzt. Eine noch einfachere Formel als für die Cylinder gestattete es, aus denselben Elementen die Leitungsfähigkeit der Substanz abzuleiten; um aber die Temperatur der freien Oberfläche zu messen, wendete der Verfasser ein weit genaueres Verfahren an. Der erhitzten Platte gegenüber befand sich ein mit Wasser angefülltes Gefäß von derselben Form; die gegenüber liegenden Oberflächen waren mit Papier bedeckt und in derselben Entfernung von diesen Oberflächen befanden sich die Pole einer thermoelektrischen Säule, die mit einem sehr empfindlichen Rheometer in Verbindung standen; es ist ganz klar, daß die Temperatur der freien Seite ganz gleich der in dem Gefäße war, sobald der Zeiger des Rheometers auf dem Nullpunkte stand.

853. Die Fig. 175 stellt den Apparat in einer Ansicht von oben dar. Die Figuren 176 und 177 sind Aufrisse von den beiden langen Seiten; die Fig. 178 ist ein senkrechter Durchschnitt, der senkrecht auf den beiden Aufrissen steht. In allen diesen Figuren bezeichnen gleiche Buchstaben gleiche Gegenstände. ABCD (Fig. 175) ist ein länglich viereckiger Kasten von verbleitem Blech, von allen Seiten geschlossen und mit Wasser angefüllt; er ist von einem hölzernen Kasten X,X,X,X, umgeben; die Böden und die kurzen Seiten beider Kästen sind durch einen Zwischenraum von 0,06 M. getrennt, während die langen Seiten des Blechkastens nur zum Theil mit Holz bedeckt sind; die Räume AX, XC und BX, XD, welche die beiden Seitenflächen des blechernen Kastens von denen des hölzernen trennen, enthalten eine große Anzahl von senkrechten Blechplatten, die an dem blechernen Kasten angelöthet sind. Sie haben den Zweck, der durch die Canäle AX, XC und BX, XD strömenden Luft die Temperatur des in dem blechernen Kasten eingeschlossenen Wassers zu geben. G,G, und HH

sind zwei länglich viereckige Canäle, welche durch einen Theil des blechernen Kastensgehen und die mittelst des untersten Theils von dem Kasten mit den Canälen A X, X C und B X, X D in Verbindung stehen.

In dem blechernen Kasten ist ein Canal angebracht, der aber nicht hindurchgeht. K und K' Fig. 178 sind zwei kreisrunde, horizontale Röhren von gleicher Achse und gleichem Durchmesser, an beiden Enden offen. L,L,L,L, sind länglich viereckige Oeffnungen von 0,20 M. Seite, in den großen Flächen des Blechkastens angebracht, die sich in dem äußern und in den Canälen G,G und H,H, öffnen. Diese Canäle, diese Cylinder und diese Oeffnungen sind von Wasser umgeben. M,M,M,M, sind Trichter über den Röhren, durch welche die Agitatoren gehen. N,N, sind Röhrenhälse, durch welche die Thermometerröhren gehen; O ist eine thermoelektrische Säule, die in dem Canale I,I, in der gemeinschaftlichen Achse beider Röhren K,K, und in gleicher Entfernung ihrer benachbarten Enden angebracht ist; ihre Pole stehen mit einem sehr empfindlichen, aber nicht in den Figuren angegebenen Rheometer in Verbindung. P,P, sind mit einander verbundene doppelte Schirme, um die Achsen Q,Q, beweglich, die den Zweck haben, die zu der Säule durch die Oeffnungen K,K, gelangenden Wärmestrahlen zu unterbrechen. Die länglich viereckigen Oeffnungen L,L,L,L, haben den Zweck, den Körper aufzunehmen, dessen Oberfläche der Säule gegenüber auf dieselbe einwirken müssen; da aber die der Säule benachbarten Oberflächen stets in gleicher Entfernung von ihren Enden sein müssen, so sind die inneren Ränder der Oeffnung L,L,L,L, mit vier kleinen Aufhaltern R,R,R,R, versehen, gegen welche sich die Körper stützen; die Figur 179, welche eine von den Flächen des Kastens darstellt, wenn die Oeffnung L,L,L,L, frei ist, zeigt die Einrichtung dieser Aufhalter.

854. Eine von den Oeffnungen L,L,L,L, ist stets von einem kupfernen Gefäß S, T, (Fig. 178) eingenommen, welches mit zwei Agitatoren und mit einem sehr empfindlichen Thermometer versehen ist. Ein Theil seiner untern Oberfläche ist in der Weise eingerichtet, daß man sieleicht mit einer Spirituslampe erwärmen kann. Dieses Gefäß ist mit einem hölzernen Rahmen umgeben, der es von den Rändern der Oeffnung trennt, in welcher es Platz gefunden hat, um die Erwärmung des Wassers in dem Kasten zu vermeiden. Dieses Gefäß ist in seiner Stellung durch kleine hölzerne Keile befestigt.

855. In der andern Oeffnung sind Platten angebracht, deren Leitungsfähigkeit man messen will; sie stützen sich auf die Kanten R,R,R,R, und werden an der andern Fläche mit Dampf erwärmt; ihre Einrichtungen sind verschieden, je nachdem die Substanzen fest oder pulverförmig sind. In der Fig. 178 hat man angenommen, daß es sich um eine feste Substanz handle; die Fig. 180 stellt nach einem weit größern Maaßstabe die Einrichtung des Apparates dar; a,b,c,d, ist ein länglich viereckiges, kupfernes Gefäß, dessen Fläche mit einer großen Oeffnung versehen ist, wie die Figuren 181 und 182 zeigen, wovon die erstere die Fläche a,b, die zweite einen Durchschnitt des Gefäßes senkrecht auf diese Fläche darstellt. Das Gefäß erhält Dampf durch die Röhre e,f, und das verdichtete Wasser, sowie der überschüssige Dampf entweichen durch die Röhre g,h; auf die Ränder der Oeffnung der Fläche a,b, ist ein dünnes und schmales Kautschukblatt gelegt, und gegen den Kautschuk bringt man die Platte an, die man durch kupferne Stäbe dicht hält, welche einerseits in einen Haken und ande-

rerseits in eine Schraube mit Mutter endigen; das Gefäß enthält ein Thermometer, welches die Temperatur des Dampfes angiebt, und mit einem Rahmen von Tannenholz, sowie das Wassergefäß in der andern Oeffnung umgeben ist; man befestigt es ebenfalls mit hölzernen Keilen.

Die Fig. 133 stellt die Einrichtung für pulverförmige Substanzen dar; alle Flächen des Dampfgefäßes sind voll. Es ist von einem hölzernen Rahmen umgeben, der die Ränder der Oeffnung L,L,L,L, isoliren muß und der Rahmen ist durch eine dünne Platte von Glas oder von Weißblech verschlossen, die auf beiden Seiten Papierüberzüge haben; das äußere Papier dient zu ihrer Befestigung. Der pulverförmige Stoff wird zwischen das Dampfgefäß und die dünne Platte gebracht.

856. Die Fig. 184 ist ein Grundriß von der thermoelektrischen Säule und von der Einrichtung, welche dazu verwendet wird, um ihre Stellung zu reguliren. a,b,c,d, ist die Säule, e und f sind die beiden mit den Polen in Verbindung stehenden Anhänge, an denen die mit dem Rheometer in Verbindung stehenden Drähte befestigt sind. Die Säule wird von den beiden Stangen g, h, die an der Büchse i, k, befestigt sind, getragen; durch diese letztere geht eine Zahnstange l, m, welche mit einem Getriebe in Eingriff steht, das durch einen Schlüssel gedreht werden kann. Durch diese Einrichtung wird es möglich, die Büchse an den zweckmäßigen Punkt zu bringen, wenn die beiden Flächen, welche auf ihre Enden ausstrahlen, dieselben sind und dieselbe Temperatur haben. Zur Befestigung der Zahnstange ist sie an ihren beiden Enden mit den Stäben p, n, versehen, deren Enden aus einem im Innern mit Schraubengewinden versehenen Kreis g, r, bestehen. Man schraubt in diese Kreise Cylinder, welche durch die Oeffnungen K, K, (Fig. 178) gehen und diese letzteren werden durch hölzerne Keile in ihrer Stellung erhalten.

857. Die Fig. 185 stellt die Vorrichtung dar, die zur Bestimmung der Verhältnisse der Ausstrahlung der Körper dient, von denen (788) die Rede war. In den beiden Oeffnungen L,L,L,L des vorhergehenden Apparates befinden sich zwei kupferne Gefäße; das eine wird durch Dampf erhitzt, während das andere Wasser enthält, dessen Temperatur man zu einem zweckmäßigen Grade erhöhen kann; die Oberflächen der Gefäße sind mit Substanzen überzogen, deren Strahlungsvermögen man messen will; dasjenige, welches die geringste Strahlung hat, befindet sich auf der Seite des Dampfes. Für Glas ist die in Fig. 108 dargestellte Vorrichtung angewendet; die Oeffnung des Gefäßes wurde mittelst einer dünnen Glasscheibe verschlossen, welche auf die weiter oben angegebene Weise festgehalten wurde.

858. Macht man, wie es bei den übrigen Methoden geschehen ist, die durch die Platte durchgelassene Wärmemenge der gleich, welche durch die freie Oberfläche emittirt worden, so gelangt man zu der sehr einfachen Formel:

$$C = \frac{eQ\,(t' - t'')}{t - t'},$$

wobei C die Leitungsfähigkeit der Substanz, e die Dicke der Platte, Q den Werth von K + K', verändert durch den der Temperatur der Oberfläche entsprechenden Coefficienten (797, 804), t, t', t'' die Temperaturen des

Dampfes, der äußern Oberfläche der Platte und der umgebenden Luft bezeichnen.

859. Die folgenden Tabellen enthalten für eine gewisse Anzahl von Körpern die Werthe von C, welche aus den beschriebenen Versuchen abgeleitet worden sind.

Diese Zahlen geben die Wärmemenge an, welche in einer Stunde eine Platte von der Substanz von 1 Quadratmeter Oberfläche und von 1 M. Dicke durchströmen wird, während die beiden Flächen um 1⁰ verschiedene Temperaturen haben.

Zusammenhängende Substanzen oder solche, deren Theile durch ein Bindemittel vereinigt sind.

Holzkohlen aus Gasretorten	d = 1,61	C = 4,96
Feinkörniger grauer Marmor	d = 2,68	C = 3,48
Weißer grobkörniger Marmor	d = 2,77	C = 2,78
Feinkörniger Kalkstein	d = 2,34	C = 2,08
" "	d = 2,27	C = 1,69
" "	d = 2,17	C = 1,70
Grobkörniger Lias-Baustein	d = 2,24	C = 1,32
" "	d = 2,22	C = 1,27
Gewöhnlicher eingerührter Gyps	d = "	C = 0,331
Gewöhnlicher, sehr feinkörniger, eingerührter Gyps	d = 1,25	C = 0,520
Sehr feinkörniger eingerührter Formgyps. . .	d = 1,25	C = 0,44
Mit Alaun vermischter eingerührter Gyps . .	d = 1,37	C = 0,63
Gebrannter Thon	d = 1,98	C = 0,63
" "	d = 1,85	C = 0,51
Fichtenholz, Transmission senkrecht auf die Fasern	d = 0,48	C = 0,093
" " parallel mit den Fasern	"	C = 0,170
Nußbaumholz, Transm. senkrecht auf die Fasern	d = "	C = 0,103
" " parallel mit den Fasern	. . . .	C = 0,174
Eichenholz, Transmission senkrecht auf die Fasern	. . . .	C = 0,211
Kork	d = 0,22	C = 0,143
Kautschuk	d = "	C = 0,170
Gutta-Percha	d = "	C = 0,173
Stärkekleister	d = 1,017	C = 0,425
Glas	d = 2,44	C = 0,75
"	d = 2,54	C — 0,88

Pulverförmige Substanzen.

Quarzsand	d = 1,47	C = 0,27
Zerstoßene Ziegelsteine, grobkörnig	d = 1,0	C = 0,139
" " durch ein Seidensieb geschl.	d = 1,76	C = 0,165
Feines Ziegelmehl, geschlämmt und decantirt .	d = 1,55	C = 0,140
Kreidepulver, etwas feucht	d = 0,92	C = 0,108
Getrocknete Schlämmkreide	d = 0,85	C = 0,086
Schlämmkreide, getrocknet und zusammengepreßt.	d = 1,02	C = 0,103
Kartoffelmehl	d = 0,71	C = 0,098
Holzasche	d = 0,45	C = 0,06

Acajou-Sägespäne	d = 0,31	C = 0,065
Gewöhnliches Holzkohlenpulver	d = 0,49	C = 0,079
Bäckerkohlen, gepulvert und durch ein Seidensieb geschlagen	d = 0,25	C = 0,068
Holzkohlenpulver, durch ein Seidensieb geschlagen	d = 0,41	C = 0,081
Cokespulver	d = 0,77	C = 0,160
Eisenfeilspäne	d = 2,05	C = 0,158
Manganoxyd-Pulver	d = 1,46	C = 0,163

Faserstoffe.

Baumwolle, die Dichtigkeit unberücksichtigt			C = 0,040
Barchent,	desgl.		C = 0,040
Neuer Kattun	desgl.		C = 0,050
Cardirte Wolle	desgl.		C = 0,044
Wollmolton	desgl.		C = 0,024
Eiderdunen	desgl.		C = 0,039
Leinwand von neuem Hanf		d = 0,54	C = 0,052
„ „ altem „		d = 0,58	C = 0,043
Weißes Schreibpapier		d = 0,85	C = 0,043
Graues Druckpapier		d = 0,48	C = 0,034

860. Es muß bemerkt werden, daß, da die Leitungsfähigkeit der Faserstoffe im Wesentlichen von ihrer Dichtigkeit abhängt, nothwendig daraus folgt, daß ihre Leitungsfähigkeit dieselbe wie die der stagnirenden Luft ist. Der Werth von C, der sich auf den Stärkekleister bezieht, kann ebenfalls gleich dem des stehenden Wassers angesehen werden. Der Verfasser hat auch noch erkannt, daß bei den schlechten Wärmeleitern die Feuchtigkeit die Leitungsfähigkeit wesentlich erhöht.

Drittes Capitel.

Allgemeine Betrachtungen und Anwendung der Formeln.

861. Wir haben weiter oben (826) gesehen, daß, wenn man mit M die Wärmemenge bezeichnet, welche in der Zeiteinheit eine Platte mit parallelen Flächen, welche die Einheit der Oberfläche hat und deren Flächen in den constanten Temperaturen t und t' erhalten werden, durchströmt, man hat:

$$M = \frac{C(t - t')}{e} = (t - t') : \frac{e}{C} \qquad \text{(a)}$$

Bei diesem Ausdrucke stellt e die Dicke der Platte und C ihre Leitungsfähigkeit dar, d. h. den Werth von M für $t - t' = 1$ und $e = 1$.

862. Wenn der Körper aus zwei über einander gelegten Platten besteht, welche die Dicken e und e' und die Leitungsfähigkeiten C und C' haben und wenn man die gemeinschaftliche Temperatur der mit einander in Berührung stehenden Flächen mit θ bezeichnet, so hat man:

$$M = \frac{C(t - \theta)}{e} \text{ und } M = \frac{C'(\theta - t')}{e'} .$$

Entfernt man θ, so findet man:

$$M = (t - t') : \left(\frac{e}{C} + \frac{e'}{C'}\right) .$$

Man würde daher für irgend eine Anzahl von Platten finden:

$$M = (t - t') : \left(\frac{e}{C} + \frac{e'}{C'} + \frac{e''}{C''} + \frac{e'''}{C'''} + \ldots\right) \ldots \text{(b)}$$

863. Mittelst der Tabellen (859) und der vorhergehenden Formeln kann man die durch die Platten transmittirten Wärmemengen leicht berechnen, wenn man die Temperatnren ihrer Oberflächen kennt. Es sind aber diese Temperaturen niemals genau bekannt, und man könnte sie auch nur durch sehr genaue Versuche bestimmen, die in der Praxis ganz unmöglich sind. Bei der Aufstellung von Entwürfen muß man aber wenigstens einen annähernden Werth für die im Verhältniß zu den Lufttemperaturen außerhalb der Oberflächen durchgelassenen Wärmemengen haben.

864. Wir wollen uns zuvörderst einen Raum denken, der durch Mauern abgeschlossen, von denen eine einzige der Luft ausgesetzt ist, welcher Raum aber im Innern auf einer Temperatur T erhalten wird, während die äußere θ ist. Die die Mauer durchströmende Wärmemenge wird, der Luft ausgesetzt, offenbar dieselbe sein, wie die, welche in derselben Zeit durch die innere Oberfläche in der Mauer strömen wird, sowie auch gleich der, welche in derselben Zeit mittelst der äußern Oberfläche ausströmt. Die innere Oberfläche wird eine Temperatur t, die unter der von T steht, haben, und die äußere Oberfläche wird die Temperatur t', die höher als θ ist, besitzen. Man kann annehmen, daß die Erwärmung der innern und die Abkühlung der äußern Oberfläche nach denselben Gesetzen bewirkt werden. Indem man alsdann mit M die Wärmemenge bezeichnet, welche durch das Quadratmeter und in der Stunde emittirt ist, so würde man drei Ausdrücke von M haben: der eine im Verhältniß zur Leitungsfähigkeit C des Materiales, aus welchem die Mauer besteht, die beiden übrigen im Verhältniß zu den Abkühlungscoefficienten durch die Ausstrahlung und durch die Berührung der Luft KK', Gleichungen, aus denen man die Werthe von t und t' im Verhältniß zu bekannten Größen ableiten könnte. Wollte man aber die Abkühlungsformeln von Dulong (794, 797) anwenden, so würde das Calcul unmöglich sein; und selbst wenn man einfachere Formeln anwendete, würde man zu einer sehr verwickelten und sehr schwer zu benutzenden Gleichung zweiten Grades gelangen. Es ist daher zweckmäßiger für die Erhitzung und für die Abkühlung, das Newton'sche Gesetz (791) anzuwenden, indem dasselbe von hinreichender Genauigkeit für geringe Tempe-

raturüberschüsse ist, und um so mehr, da alle sich auf die Wärmetransmission beziehenden Berechnungen nur Annäherungen sind, da Umstände obwalten, die man unmöglich berücksichtigen kann, wohin die Temperaturzunahme der hervortretenden Punkte der äußern Oberfläche in dem Maaße ihrer Höhe, die Einwirkung der Winde, die der Sonne u. s. w. gehören. Wir werden demnach haben:

$$M = \frac{C(t' - \theta)}{e} \; ; \; M = Q(T - t) \; ; \; M = Q(t' - \theta) \; ;$$

Gleichungen, welche geben:

$$t = \frac{T(C + Qe) + C\theta}{2C + Qe} \; ; \; t' = \frac{\theta(C + Qe) + TC}{2C + Qe} \; ; \text{ und } M = \frac{CQ(T - \theta)}{2C + Qe} \,. \quad (a)$$

865. Es lassen sich aus dieser letztern Formel verschiedene wichtige Folgerungen machen: Wenn Qe im Verhältniß zu 2C sehr klein wäre und unberücksichtigt gelassen werden könnte, so würde sich die Formel auf $M = \frac{Q(T - \theta)}{2}$ reduciren und der Werth von M würde unabhängig von e, d. h. von der Beschaffenheit des Körpers und von seiner Dicke sein. Dieser Umstand kann stattfinden, wenn der Werth von e im Verhältniß zu C sehr gering ist.

Wir wollen z. B. Blei, welches das am Schlechtesten leitende Metall ist, annehmen und bei welchem C = 14; nimmt man nun an, daß die Oberflächen der Platte dunkel und matt seien, so wird Q fast gleich 6 sein und für Dicken von 0,01 M.; 0,02 M.; 0,03 M. werden die Werthe von 2C + Qe sein 28 + 0,06; 28 + 0,12; 28 + 0,18, die sehr wenig von einander verschieden sind. Bei den anderen Metallen würde dies noch weit mehr der Fall sein. Nimmt man an, daß ein Stück von irgend einem Zeuge, bei welchem der geringste Werth von C 0,04 ist, 0,0001 M. sei, welches fast die Stärke eines Papierblattes ist, so würde der Werth von 2C + Qe = 0,08 + 0,0006 sein. Der zweite Ausdruck, der im Verhältniß zum ersten klein ist, könnte ebenfalls unberücksichtigt bleiben und der Werth von M würde derselbe wie vorher sein. Es transmittirt daher ein Stück Papier eben soviel Wärme als eine Metallplatte, deren Dicke in sehr verschiedenen Grenzen ausgedehnt sein kann.

Aehnliches zeigt sich bei Glasplatten von mehreren Millimetern Dicke, denn für das Glas ist C = 0,75; Q = 2,91 + 2,20 = 5,10, und 2C + Qe = 1,50 + 5,10e, und für die Dicken von 0,001 M.; 0,002 M.; 0,003 M. wird dieser letztere Ausdruck 1,5 + 0,0051; 1,5 + 0,0102; 1,5 + 0,01503.

866. Wenn man C als sehr klein und die Dicke e als groß genug annähme, so daß 2C im Verhältniß von Qe unberücksichtigt bleiben könnte, so würde sich der Werth von M auf $\frac{C(T - \theta)}{e}$ vermindern; er würde folglich unabhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche sein und im umgekehrten Verhältniß von e stehen. Da aber der Werth von C für metallische Körper niemals unter dem von Q ist, so müßte selbst für die

schlechtesten Wärmeleiter die Dicke sehr groß sein, z. B. für die Faserstoffe mit $e = 0{,}50$ M. würde man haben $2C + Qe = 0{,}08 + 6 \cdot 0{,}5 = 0{,}08 + 3$.

867. Wenn man zwei neben einander stehende Mauern hätte, und annähme, daß keine plötzliche Temperaturveränderung der Wärme von der ersten zur zweiten stattfände, was übrigens durch die Erfahrung bestätigt ist und indem man mit x die Temperatur an der Verbindung der beiden Mauern bezeichnet, mit C und C′ ihre Leitungsfähigkeiten, so wird man haben:

$$M = \frac{C(t - x)}{e}\ ;\ M = \frac{C'(x - t')}{e'}\ ;\ M = Q(T - t)\ ;\ M = Q(t' - \theta),$$

Gleichungen, welche geben:

$$M = \frac{Q(T - \theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{e'}{C'}\right)}.$$

Man würde dasselbe für irgend eine Anzahl von Mauern finden, deren Dicken e, e', e'', e''' sind, und deren Leitungsfähigkeit $C, C', C'', C''' \ldots$

$$M = \frac{Q(T - \theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{e'}{C'} + \frac{e''}{C''} + \frac{e'''}{C'''} \ldots\right)} \quad \ldots . \text{(b)}$$

868. Um die Benutzung dieser Formeln zu verstehen, wollen wir die erstere (a) (864) auf einen besondern Fall anwenden. Wir wollen eine 10 M. hohe Mauer, die aus Kalkstein aufgeführt ist und die eine Leitungsfähigkeit von 1,70 hat, annehmen; da die Coefficienten K und K′ gleich 3,60 (794) und 1,96 (803) sind, so werden wir haben $Q = K + K' = 5{,}56$; wir werden annehmen $T = 15^0$ und $\theta = 6^0$; der Werth von T ist die gewöhnliche Temperatur der bewohnten Räume und θ fast der mittlere Werth von der äußern Temperatur zu Paris während der sechs Wintermonate, in denen geheizt werden muß. Mit diesen Zahlen, indem man für e nach und nach annimmt:

0,10 M 0,20 M 0,30 M 0,40 M 0,50 M 0,60 M 0,70 M 0,80 M 0,90 M 1,00 M

geben die Formeln (a) für t die nachstehenden Werthe:

11,15⁰ 11,61⁰ 12,00⁰ 12,31⁰ 12,56⁰ 12,77⁰ 12,96⁰ 13,11⁰ 13,24⁰ 13,29⁰

für t′

10⁰ 9,66⁰ 9,38⁰ 9,16⁰ 8,99⁰ 8,83⁰ 8,71⁰ 8,60⁰ 8,50⁰ 8,37⁰

und für M

25,40 22,25 19,84 17,85 16,23 14,95 13,81 12,84 12,00 11,20.

869. Die vorhergehenden Formeln sind aber bei der Wärmetransmission durch eine der freien Luft ausgesetzte Mauer nicht anwendbar, wenn nicht alle anderen Oberflächen des Raumes die wesentlichen Temperaturen der Ringmauern haben, was jedoch nur dann der Fall sein kann, wenn nur die erste Mauer der äußern Abkühlung ausgesetzt ist. Wenn alle Mauern eines Zimmers der äußern Luft ausgesetzt sind, so müssen alle inneren Oberflächen Temperaturen haben, die wenig verschieden und geringer sind, als die der Luft, und folglich ist die transmittirte Wärmemenge unter gleichen Umständen auf das Quadratmeter und die Stunde kleiner als im erstern Falle. Man findet dies bei einzeln liegenden Pavillons und bei Kirchen.

870. In den Fällen, wobei alle Zimmer der äußern Luft ausgesetzt sind, werden die inneren Oberflächen der Mauern nur durch die Bewegungen der Luft erwärmt, weil, wenn die inneren Oberflächen von derselben Temperatur sind, ihre gegenseitige Ausstrahlung ohne Einfluß ist; alsdann wird man unter Zugrundelegung des Gesagten haben:

$$M = \frac{C(t - t')}{e}\ ;\ M = Q(t' - \theta)\ ;\ M = K'(T - t)\ ;\ \text{und}\ Q = K + K',$$

Gleichungen, welche geben

$$t = \frac{Q(eK'T + C\theta) + CK'T}{C(Q + K') + QeK'}\ ;\ t' = \frac{Q(eK'\theta + C\theta) + CK'T}{C(Q + K') + QeK'}\ ;$$

$$M = \frac{K'CQ(T - \theta)}{C(Q + K') + QeK'}\ .$$

871. Wenn die Mauer aus zwei neben einander stehenden Wänden bestände, deren Dicken e und e′ und deren Leitungsfähigkeiten C und C′ wären, so würde man haben

$$M = \frac{C(t - x)}{e}\ ;\ M = \frac{C'(x - t')}{e'}\ ;\ M = Q(t' - \theta)\ ;\ \text{und}\ M = K'(T - t)\ ;$$

und folglich

$$M = \frac{K'Q(T - \theta)}{Q + K + K'Q\left(\frac{e}{C} + \frac{e'}{C'}\right)}\ .$$

Wäre irgend eine Anzahl von Mauern zu betrachten, so würde die allgemeine Formel sein:

$$M = \frac{K'Q(T - \theta)}{Q + K' + K'Q\left(\frac{e}{C} + \frac{e'}{C'} + \frac{e''}{C''} + \dots\right)}\ .$$

Wenn man, wie vorher, $C = 1{,}70$; $K = 3{,}60$; $K' = 1{,}96$; $K + K'$

$= 5{,}56$; $T = 15^0$; $\theta = 6^0$ annimmt, so findet man unter der Annahme, daß e gleich sei

0,10M 0,20M 0,30M 0,40M 0,50M 0,60M 0,70M 0,80M 0,90M 1,00M,

für t die nachstehenden Werthe:

8,86° 9,31° 9,70° 10,03° 10,33° 10,60° 10,83° 11,04° 11,23° 11,24°

für t'

8,16° 8,00° 7,86° 7,74° 7,64° 7,55° 7,46° 7,39° 7,32° 7,26°

und für M

12,01 11,13 10,38 9,71 9,14 8,62 8,16 7,75 7,37 7,03.

Es muß bemerkt werden, daß, wenn die Mauern eine Höhe von 20 M. hätten, der Verlust durch die Berührung der Luft 1,90 statt 1,96 sein und man im Wesentlichen dieselben Resultate erhalten würde.

872. Die Werthe von M, die wir in dem letztern Falle erhalten haben, sind weit kleiner als die ersten; dieses Resultat rührt, wie schon bemerkt, daher, daß die Temperatur der inneren Mauerflächen viel geringer ist.

873. Es muß bemerkt werden, daß in den beiden untersuchten Fällen einige Vorsichtsmaaßregeln bei der Temperaturmessung angewendet werden müssen; wäre das Thermometer frei der Luft ausgesetzt, so würde die von ihm angegebene Temperatur die der Luft sein, modificirt durch die gegenseitige Ausstrahlung seines Behälters und der Umgebung, und es würde daher eine geringere Temperatur, als die der Luft ist, angegeben. Man muß daher sein Reservoir nothwendig der Strahlung der Umgebung entziehen und es mit mehreren concentrischen Mänteln versehen, die an beiden Enden offen sind, so daß sich die Luft sehr rasch erneuern kann. Die Wirkung, die von einem Thermometer durch die Temperaturverminderung der innern Oberfläche der Mauern hervorgebracht wird, würde sich offenbar auf die Personen mittheilen, die sich innerhalb der Mauern befinden, und wenn daher das Wärmegefühl, welches sie empfangen, dasselbe bleiben sollte, so müßte die Temperatur der Luft in dem Maaße zunehmen, als die der innern Oberfläche der Mauern abnähme.

874. Die beiden hier betrachteten Fälle haben niemals genau dasselbe Verhalten; im erstern Fall ehaben die inneren Oberflächen der Mauern, die der äußern Luft nicht ausgesetzt sind, niemals die Temperatur der Luft, und zwar wegen ihrer Ausstrahlung auf die übrigen Mauern und auf die Fenster. Im zweiten Falle giebt es innere Theile der Umgebungen, nämlich die Fußböden und die Decken, die der äußern Abkühlung nicht ausgesetzt sind, und oft findet man innere Mauern, wie z. B. die, welche die Schiffe der Kirchen trennen. Diese Mauern werden durch die Luft erwärmt und strahlen auf die inneren Flächen der äußeren Mauern aus. In beiden Fällen endlich, wenn eine Erwärmung auf die strahlenden Oberflächen durch Oefen, durch Luftheizung oder durch Röhren erfolgt, gelangen

die Wärmestrahlen auf die inneren Oberflächen der Mauern und erhöhen die Temperatur. Wie wir aber weiter unten sehen werden, kann man die in den meisten Fällen producirten Wirkungen als die äußersten Grenzen von denjenigen ansehen, welche im Allgemeinen in der Praxis vorkommen.

875. Unterbrochene Mauern. — In dem Vorhergehenden haben wir angenommen, daß die Mauern keine Unterbrechung erlitten; wenn sie aber aus Mauern von parallelen Flächen bestehen, die durch Zwischenräume, welche mit Luft angefüllt, getrennt sind, so könnte die transmittirte Wärmemenge weit kleiner sein. Nimmt man an, daß die Zwischenräume weit genug sind, daß sich die Luft leicht darin bewegen kann, so darf man auch, ohne Gefahr, sich von der Wahrheit zu weit zu entfernen, ferner annehmen, daß die, durch die von der Luft eingenommenen Räume durchgelassene Wärme gleich $Q\,(x - x')$ ist, wobei x und x' Temperaturen der einander gegenüber liegenden Flächen sind, während sie durch $\frac{C}{e}$ und $(x - x')$ dargestellt werden würden, wenn dieser Raum von einer Substanz eingenommen wäre, die eine Leitungsfähigkeit C und eine Dicke e hätte. Man wird daher den Werth von M in beiden betrachteten Fällen erlangen, wenn man in den allgemeinen Formeln $\frac{e}{C}$ durch $\frac{1}{Q}$ ersetzt. Alsdann wird die allgemeine, sich auf den ersten Fall beziehende Formel, indem man nach und nach einen und zwei freie Zwischenräume annimmt, werden:

$$M = \frac{Q(T - \theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{1}{Q} + \frac{e'}{C'}\right)}\,;\; M = \frac{Q(T - \theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{1}{Q} + \frac{e'}{C'} + \frac{1}{Q} + \frac{e''}{C''}\right)}.$$

Wenn die Mauern von derselben Beschaffenheit wären und dieselbe Dicke e hätten und von der Anzahl n wären, so würde man haben

$$M = \frac{Q(T - \theta)}{2 + \frac{nQe}{C} + n - 1}.$$

Nimmt man eine fortlaufende Mauer von gleicher gesammter Di an, so wird die Menge der transmittirten Wärme M' sein

$$M' = \frac{Q(T - \theta)}{2 + \frac{nQe}{C} + \frac{(n-1)Qe}{C}} = \frac{Q(T - \theta)}{2 + \frac{Qe}{C}\cdot(2n - 1)},$$

und man würde haben

$$\frac{M}{M'} = \frac{2 + \frac{Qe}{C}(2n - 1)}{2 + \frac{nQe}{C} + n - 1}$$

876. Wenn man annimmt, daß die freien Zwischenräume und die Mauern 0,02 M. Dicke hätten, und daß die massiven Theile aus gebrannten Steinen beständen, so würde man haben $Q = 5{,}56$; $C = 0{,}60$, und das vorhergehende Verhältniß würde werden

$$\frac{M}{M'} = \frac{2 + 0{,}185(2n - 1)}{2 + 0{,}189 \cdot n + n - 1}.$$

Macht man nun nach und nach n gleich

1 2 3 4 5 10,

so findet man für die Verhältnisse von M : M'

1 0,75 0,64 0,57 0,53 0,43.

877. Es scheint auf den ersten Blick, daß es vortheilhaft sein würde, die Dicke der Luftschichten so zu vermindern, daß sie unbeweglich bleiben, allein es würde alsdann eine directe Wärmetransmission durch die Luft stattfinden, und wenn die Dicke gering wäre, so würde die Transmission größer sein, als wenn sich die Luft leicht bewegen könnte. Wirklich würde in jedem mit Luft angefüllten Zwischenraume die durchgelassene Wärme dargestellt werden können durch $(x - x')\left(K + \frac{0{,}04}{e}\right)$, und wenn man annähme $e = 0{,}02$ M., so würde $\frac{0{,}04}{e}$ gleich sein 2, welches fast der Werth von K' ist, und für einen kleinern Werth von e würde der Factor von $(x - x')$ weit größer als Q sein.

Damit die mit Luft angefüllten Zwischenräume die Transmission der Wärme vermindern, muß $\frac{e}{C}$ nothwendig viel kleiner als $\frac{1}{K + \frac{0{,}04}{e}}$ sein; nun ist aber in dem fraglichen Falle $C = 0{,}60$, $K = 2$, und für die Werthe von e gleich

0,0001 M. 0,001 M. 0,01 M. 0,02 M. 0,03 M. 0,04 M. 0,05 M.

sind die Werthe von $\frac{e}{C}$

0,000166 0,00166 0,0166 0,0332 0,0492 0,0664 0,0830,

während die Werthe von $\frac{1}{K + \frac{0{,}04}{e}}$ sind

0,0024 0,024 0,166 0,25 0,30 0,33 0,357.

Man würde offenbar dieselben Resultate für größere Werthe von C erlangen; es würde dies aber nicht der Fall sein, wenn der Werth von C viel kleiner wäre. Wäre er z. B. zehnmal kleiner und gleich 0,06, so würde der Werth $\frac{1}{K+\frac{0,04}{e}}$ nicht größer als $\frac{e}{C}$ sein als bis auf eine Dicke von 0,01; darüber hinaus würde er kleiner werden.

Man ersieht aus dem Gesagten leicht, daß das Zwischenlegen von Luftschichten besonders dann vortheilhaft sein wübe, wenn die gegenüberliegenden freien Oberflächen ein geringes Strahlungsvermögen hätten.

Es folgt aus dem Vorhergehenden, daß hohle Ziegelsteine weit weniger Wärme durchlassen können, als volle von gleicher Dicke, welches vollständig durch die Erfahrung bewiesen wird.

878. Man würde beim zweiten Falle, den wir (870) untersucht haben, zu ähnlichen Resultaten gelangen, wenn man dieselben Abänderungen bei der allgemeinen Formel in Bezirhung auf an einander liegende Wände von verschiedener Beschaffenheit machte. Es würde auch, wie bei den untersuchten Fällen, jedesmal dann eine Verminderung der Transmission stattfinden, wenn $\frac{e}{C}$ größer als die Transmission durch die um die Strahlung der gegenüber befindlichen Oberflächen vermehrte Luftschicht sein würde.

879. Es ist jetzt leicht, die Menge der durch ein Gefäß mit sehr nahe an einander liegenden Mänteln verloren gehenden Wärmemenge zu finden. Nimmt man einen einzigen Mantel an und bezeichnet man mit t und t′ die Temperaturen der beiden Oberflächen, so hat man:

$$\left.\begin{array}{l} M=(t-t')\left(K+\frac{C}{e}\right) \\ M=(t'-t'')(K_1+K') \end{array}\right\}, \text{ daher } M=(K_1+K')(t-t'')\left\{\frac{K+\frac{C}{e}}{K+\frac{C}{e}+(K_1+K')}\right\}.$$

Nimmt man zwei Mäntel an und bezeichnet man die Temperatur der zweiten Oberfläche mit θ, so hat man

$$\left.\begin{array}{l} M=(t-\theta)\left(K+\frac{C}{e}\right) \\ M=(\theta-t')\left(K+\frac{C}{e}\right) \\ M=(t'-t'')(K_1+K') \end{array}\right\}, \text{ daher } M=(K_1+K')(t-t'')\left\{\frac{K+\frac{C}{e}}{K+\frac{C}{e}+2(K_1+K')}\right\}.$$

Vermehrt man nach und nach die Mäntel um eine Zahleneinheit, so findet man, daß, wenn man den Coefficienten von $(K_1 + K')$, den Renner des Bruchs nach und nach um 1 vermehrt, man zu der allgemeinen Formel gelangt:

$$M = (K_1 + K')(t = t'')\left\{\frac{K+\frac{C}{e}}{K+\frac{C}{e}+m(K_1+K')}\right\},$$

in welcher K die Ausstrahlung der inneren Oberflächen, K_1 die der äußern Oberfläche, K′ die Wärmemenge, die von dieser Oberfläche durch Berührung mit der äußern Luft aufgenommen ist, C die Leitungsfähigkeit der Luft, e die Dicke der Luftschicht und m die Anzahl der Mäntel bezeichnet.

Nimmt man $K = K_1 = 3{,}77$; $K' = 3{,}85$; $C = 0{,}040$ und $e = 0{,}001$ M.; für die nachstehenden Werthe von m

0	1	2	3	4,

so findet man, daß die Werthe von M in dem Verhältniß der Zahlen

1	0,87	0,77	0,69	0,62.

Directe Versuche haben ergeben:

1	0,90	0,75	0,67	0,60.

Wenn zwischen den Mänteln eine Luftleere bestände, so würde die Wärmetransmission nur durch die Strahlung stattfinden, und es ließe sich dann die transmittirte Wärme offenbar aus der vorhergehenden Formel ableiten, indem man $C = 0$ macht. Sie wird alsdann:

$$M = \frac{(K_1 + K')(t - t'')K}{K + m(K_1 + K')}.$$

Nimmt man an, daß die Mäntel aus Zinkblech bestehen, so würde man $K = K_1 = 0{,}24$ haben; nimmt man deren Zahl zu zehn an, und macht $K' = 4$, $t = 100$, $t' = 15$, so findet man $M = 2{,}11$. Um diese Transmission mit derjenigen zu vergleichen, welche stattfinden würde, wenn der Zwischenraum, der den Körper des letztern Mantels trennt, mit Eiderdunen ausgefüllt wäre, welche die schlechtesten Wärmeleiter sind, wollen wir annehmen, daß der Zwischenraum 0,01 M. sei. Die Formel für die Transmission der Wärme durch eine Platte ist $\frac{CQ(t - t')}{(C + Qe)}$. In dieser Formel bezeichnet C die Leitungsfähigkeit der Substanz, welche für Eiderdunen 0,036 ist; Q den Wärmeverlust durch die äußere Oberfläche, der hier 4,24 beträgt, und e die Dicke, welche wir zu 0,1 M. angenommen haben. Für diese verschiedenen Zahlenwerthe findet man, daß die transmittirte Wärmemenge 185 gleich ist, d. h. fast 90 mal größer, als mit den Mänteln und der Luftleere.

Das zur Bestimmung der Wärmetransmission angegebene Mittel ist das wirksamste, welches der Verfasser kennt. Um es bei zwei concentrischen metallischen Cylindern anzuwenden, müßte man an den beiden Enden den Zwischenraum, der sie durch einen schlechten Wärmeleiter trennt, verschließen, dann in der Nähe von einem der Enden ein sehr kleines Bleirohr anlöthen, welches zur Herstellung der Luftleere dienen würde und das man alsdann mittelst der Löthrohrflamme zulöthen könnte. Diese Einrichtung würde ganz besonders bei den Apparaten vortheilhaft sein, die zum Bereiten des Eises dienen.

880. Transmission der Wärme durch die Fensterscheiben. — Wir wollen hier zwei extreme Fälle untersuchen; zuvörderst den ersten, bei dem die Frage wegen Durchlassung der Wärme durch die Mauern war, und dann den Fall von einer vollständigen Glaswand.

881. Wollen wir zuvörderst annehmen, daß die Fensterscheiben in einem Raume befindlich seien, von dem nur eine Wand der Luft ausgesetzt ist, so werden die anderen Wände im Wesentlichen die Temperatur der innern Luft haben. Da die Strahlen der dunklen Wärme nicht durch das Glas gehen, so werden die Scheiben einerseits durch die Strahlung der inneren Oberflächen, andererseits durch Berührung mit warmer Luft erwärmt werden, während sie sich auf der andern Seite durch gleiche Ursachen abkühlen. Nimmt man an, daß die Erwärmung und die Erkaltung bei gleichen Temperaturüberschüssen auf gleiche Weise bewirkt werden, und bemerkt man, daß für dünne Scheiben die transmittirten Wärmemengen unabhängig von ihrer Dicke sind, wie wir weiter oben (865) gesehen haben, so wird man unter Beibehaltung der vorhergehenden Angaben haben:

$$M = (T - x)Q \; ; \; M = (x - \theta)Q \; ; \; \text{daher } x = \frac{T + \theta}{2}, \text{ und } M = \frac{T - \theta}{2} Q .$$

Für Höhen von

1 M.	2 M.	3 M.	4 M.	5 M.

während die Werthe von K' (803) gleich waren

2,400	2,210	2,130	2,08	2,05

und da die Ausstrahlung des Glases gleich 2,91 ist, so findet man für diese verschiedenen Höhen und für eine Temperaturdifferenz von 1° zwischen T und θ die nachstehenden Werthe für M

2,650	2,560	2,520	2,496	2,479.

Die größte von diesen Zahlen ist kleiner als die früher bei directen Versuchen gefundene, weil der Verfasser eine Glastafel von geringerer Höhe angewendet und weil er nicht alle die Vorsichtsmaaßregeln beobachtet hatte, deren Nothwendigkeit er später anerkennen mußte.

Wenn die innere Temperatur 15° und die äußere 6° betrügen, so würde die der Scheiben 10,5° sein und die von 1 Quadratmeter und in der Stunde ausgeströmten Wärmemengen für die angegebenen Höhen würden sein:

23,85	23,04	22,68	22,46	22,32.

882. Wir wollen jetzt eine gänzlich aus Glasscheiben bestehende Wand betrachten, die durch erhitzte Luft erwärmt wird, und wollen die durch den Boden hervorgebrachte Wirkung ganz unberücksichtigt lassen. Die Scheiben würden nur durch die Luft erwärmt werden, da bei gleicher Temperatur aller übrigen Oberflächen ihre gegenseitige Ausstrahlung keine Wirkung haben würde. Man würde alsdann unter übrigens gleichen Umständen wie vorher haben:

$$M = (T - x)K' \; ; \; M = Q(x - \theta) \,,$$

Gleichungen, welche geben:

$$x = \frac{K'T + Q\theta}{Q + K'} \; ; \text{ und } M = \frac{QK'(T - \theta)}{Q + K'} \,.$$

Man würde wie in dem vorhergehenden Falle finden, daß für Höhen von

1 M.	2 M.	3 M.	4 M.	5 M.

die auf das Quadratmeter und in der Stunde transmittirten Wärmemengen für eine Differenz von 1° sind:

1,65	1,54	1,49	1,47	1,45.

Für eine innere Temperatur von 15° und für eine äußere von 6° sind die transmittirten Wärmemengen:

14,85	13,86	13,41	13,23	13,05.

Diese Zahlen sind kleiner, als die weiter oben (881) gefundenen, weil die Fensterscheiben eine weit niedrigere Temperatur haben.

883. Die beiden von uns untersuchten Fälle, sowie diejenigen, von denen wir bei Gelegenheit der Wärmetransmission durch die Mauern geredet haben, stimmen nie genau überein. Im erstern Falle haben die Oberflächen der Mauern den Fenstern gegenüber stets eine geringere Temperatur als die Luft, und im zweiten ist immer ein Theil der Maueroberfläche nicht mit Fenstern versehen; und wenn die Erwärmung zum Theil durch Ausstrahlung der erwärmten Oberflächen bewirkt wird, so werden die Strahlen, welche direct auf die Fenster kommen, die Wärmemenge, welche sie transmittiren, vermehren. In allen Fällen aber sind die wirklich durchgelassenen Wärmemengen zwischen denen begriffen, die wir für die beiden äußersten Fälle berechnet haben. Wir kommen auf diese Frage zurück, wenn wir von der Erwärmung bewohnter Räume sprechen.

884. Doppelte oder vielfache Fensterscheiben. Wenn die Fenster aus mehreren parallelen Glasscheiben bestehen, die durch hinreichende Zwischenräume getrennt sind, so daß sich Luft leicht in denselben aufhalten kann, so wird man, da die beiden Flächen eines jeden Fensters im Wesentlichen gleiche Temperatur haben würden, den Werth von **M** in dem ersten betrachteten Falle erhalten, indem die Dicken $e, e', e'' \ldots$ in der allgemeinen Formel (875) gleich Null angesehen werden würden. Alsdann würden für $2, 3, 4 \ldots n$ Fensterscheiben, die Werthe von **M** sein:

$$\frac{Q(T-\theta)}{2+1} \,;\; \frac{Q(T-\theta)}{2+2} \,;\; \frac{Q(T-\theta)}{2+3} \,;\; \ldots\ldots\ldots \frac{Q(T-\theta)}{2+n-1} \,;$$

und die Verhältnisse dieser Werthe zu dem, welcher sich auf eine einzige Scheibe bezieht, würden sein

$$\frac{2}{3} \,;\; \frac{1}{2} \,;\; \frac{2}{5} \,;\; \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{2}{1+n} \,.$$

Mehr oder minder dicke Vorhänge würden im Wesentlichen dieselben Wirkungen hervorbringen. Wenn die Entfernung der Fenster weniger als 2 Centimeter betrüge, so würde die Transmission vermehrt werden, weil die Transmission durch die Luft $\frac{0,04}{0,02}$ gleich der Transmission durch die Berührung der Luft und durch ihre Erneuerung ist, und da bei kleineren Entfernungen die Transmission durch eine unbewegliche Luftschicht noch größer sein würde.

Bei gänzlich aus Glas bestehenden Wänden würde man, wenn man den Unterschied der Oberflächen unberücksichtigt lassen könnte, in den Fall der multiplicirten gleichen Wände oder Mäntel (815) zurückkommen; allein man müßte in der Formel Q in K' und n + 1 in n verwandeln, weil in dieser Formel n die ganze Anzahl der Oberflächen mit Inbegriff derer des Gefäßes ist. Alsdann würden sich die transmittirten Wärmemengen umgekehrt wie die Zahl der Wände oder Mäntel verhalten. Es ist dies aber ein gänzlich hypothetischer Fall, der niemals stattfinden kann, weder in Beziehung auf die Continuität der Glaswände, noch in Beziehung auf die Gleichheit ihrer Oberflächen.

In dem zweiten Falle, den wir bei den Mauern betrachtet haben, würde der Calcul in Beziehung auf die Transmission der Wärme durch die Fenster sehr verwickelt sein, weil man die Oberflächen der Fensterscheiben berücksichtigen müßte, und wegen des Bodens und der Decke, die man nicht in Rechnung bringen kann, würde man niemals genaue Bestimmungen erhalten.

Der zuerst untersuchte Fall giebt offenbar das Maximum der Transmission; er ist der einzige, bei welchem man mit hinreichender Genauigkeit die Menge der durch die Fenster transmittirten Wärme berechnen könnte, und die erhaltenen Zahlen genügen in allen Fällen, um eine hinreichende Bestimmung von den Mengen der verlorenen Wärme zu erhalten.

885. Transmission der Wärme durch cylindrische Wände. — Der jetzt zu betrachtende Fall ist z. B. der einer Metallröhre, durch welche Dampf strömt, und die mit wenig leitenden Substanzen umgeben ist, um den Wärmeverlust auf dem Wege zu vermindern. Bezeichnen wir mit M die durch die Einheit der Länge und mit der Einheit der Zeit transmittirte Wärmemenge, mit R und R' die Radien der inneren und äußeren Cylinder, mit t und t' ihre Temperaturen und mit θ die äußere Temperatur. Wenn der gehörige Standpunkt erreicht ist, so ist die durch die Wand gehende Wärme gleich der, welche zu gleicher Zeit ein ringförmiges, außerordentlich dünnes Element von dem Radius r durchströmt; da nun dieses letztere gleich der Oberfläche $2\pi r$ dieses Elementes multiplicirt durch die Leitungsfähigkeit C des Materiales ist, multiplicirt ferner durch die Differenz der Temperatur dt ihrer beiden Oberflächen, die im umgekehrten Verhältniß ihrer Entfernung dr stehen, so wird man haben:

$$M = \frac{-2\pi r C dt}{dr}\,; \text{ daher } Cdt = -\frac{M}{2\pi}\frac{dr}{r}\,.$$

Das Minuszeichen soll ausdrücken, daß die Veränderungen der Temperatur und des Halbmessers von der Wand in entgegengesetzter Richtung

stattfinden. Integrirt man die letzte Gleichung zwischen t und t' für d t, und R und R' für d r, so erhält man

$$C(t - t') = \frac{M}{2\pi} m(\log R' - \log R) \; ; \text{ und } M = \frac{2\pi C(t - t')}{N} \; ;$$

dabei ist m das Modul der Logarithmentafeln 2,3025, während N m(log R' — log R) darstellt.

Man hat aber zu gleicher Zeit $M = 2\pi R'Q(t' - \theta)$; scheidet man t' zwischen beiden Gleichungen aus, so wird man endlich finden

$$M = \frac{2\pi R'Q(t - \theta)}{1 + \frac{QR'N}{C}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(a)}$$

Wären zwei anliegende Wände vorhanden, und man bezeichnete die Temperatur der zweiten mit x, so würde man haben:

$$C(t - x) = \frac{M}{2\pi} N \; ; \; C'(x - \theta) = \frac{M}{2\pi} N' \; ; \text{ und } M = 2\pi R''Q(t' - \theta),$$

Gleichungen, welche durch Ausscheidung von x geben

$$M = \frac{2\pi QR''(t - \theta)}{1 + QR''\left(\frac{N}{C} + \frac{N'}{C'}\right)} .$$

Wiederholt man die Berechnung für 3, 4 . . . Mäntel, so wird man auf die folgende allgemeine Formel geführt:

$$M = \frac{2\pi QR^{(n)}(t - \theta)}{1 + QR^{(n)}\left(\frac{N}{C} + \frac{N'}{C'} + \frac{N''}{C''} + \ldots\ldots\right)} .$$

886. Nehmen wir jetzt die sich auf eine einzige Wand beziehende Formel wieder auf:

$$M = \frac{2\pi R'QC(t = \theta)}{C + QR'm(\log R' - \log R)} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(b)}$$

Wenn wir annehmen, daß die Größe C im Verhältniß zu QR'N sehr klein sei, so würde sich die Formel reduciren auf:

$$\frac{2\pi C(t - \theta)}{m(\log R' - \log R)} ,$$

ein Ausdruck, der unabhängig von Q ist und der in dem Maaße abnimmt, als R' zunimmt; es wechselt daher die Transmission nicht mit dem Zustande der Oberfläche. Wenn dagegen der Werth von C sehr groß im Ver-

hältniß zu dem folgenden Ausdrucke wäre, so würde man $M = 2\pi QR'(t - \theta)$ haben, ein Ausdruck, der unabhängig von C ist und mit dem Verhältniß von R' zunimmt.

Die erstere Annahme würde bei einem Mantel von Baumwolle oder Wolle realisirt werden; die zweite unter der Annahme, daß der Mantel eine fast metallische Leitungsfähigkeit habe.

887. Das Verhältniß dieses Werthes von M und der unter gleichen Umständen von einer unbedeckten Röhre transmittirten Wärmemenge ist ganz offenbar gleich:

$$\frac{C}{R} \cdot \frac{1}{C + QR'm(\log R' - \log R)} .$$

Man ersieht aus der letztern Formel, daß es in Beziehung auf den Wärmeverlust nicht immer vortheilhaft sei, eine Röhre mit einem Körper zu bedecken, der selbst ein schlechter Wärmeleiter ist, denn dieser Ausdruck ist nicht nothwendig kleiner als die Einheit, und bei gleichem Werthe von C verändert er sich mit R und R'. Es giebt für C gewisse Werthe, welche Körpern angehören, die als schlechte Wärmeleiter bekannt sind und die für M größere Werthe geben, als die einem unbedeckten Cylinder entsprechenden; alsdann hat die Zunahme der Cylinderoberfläche für diese Körper mehr Einfluß als die Verzögerung in der Transmission der Wärme durch ihre Dicke.

888. Wir wollen als Beispiel eine horizontale gußeiserne Röhre von 0,05 M. Halbmesser und von 1 M. Länge annehmen, die durch Dampf erhitzt und nach und nach mit mehreren Schichten Baumwolle bedeckt wird.

Nimmt man äußere Luft von 15^0 an, so folgt aus dem Gesagten (807), daß die auf das Quadratmeter und in der Stunde emittirte Wärmemenge bei unbedeckter Röhre gleich 805 ist, und bei 1 M. Länge würde diese Größe werden $805 \cdot 2\pi R = 252{,}77$.

Um die Wärmemengen zu finden, welche auf das laufende Meter und in der Stunde durch die Röhre, wenn sie mit einer Baumwollenschicht von nachstehenden Dicken bedeckt, durchgelassen sind,

0,01 M. 0,02 M. 0,03 M. 0,04 M. 0,05 M. 0,10 M. 0,15 M.

muß man in der Formel $C = 0{,}04$; $R = 0{,}05$ machen und R' alsdann folgende Werthe geben:

0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,15 0,20.

Um die Werthe von Q zu erhalten, muß man sich erinnern, daß $Q = K + K'$ ist. K und K' sind aber die Coefficienten der Abkühlung durch Strahlung und durch Luftberührung. Nimmt man nun an, daß das umhüllende Material mit Leinwand bedeckt ist, so wird man $K = 3{,}65$ haben, und die Werthe von K' werden sich durch die Formel (799) ableiten lassen. Man findet demnach für K'

2,70 2,60 2,53 2,48 2,44 2,31 2,24

und für die Werthe von Q

6,35	6,25	6,18	6,13	6,09	5,96	5,90.

Die Werthe von N sind

0,182	0,336	0,459	0,587	0,693	1,098	1,385

Substituirt man in der Formel (a) die constanten Zahlen, so wird sie

$$M = \frac{21,36 \cdot QR'}{0,04 + QR'N},$$

und man erhält die nachstehenden Resultate:

$$R' = 0,06 \quad R = 0,05 \quad M = \frac{8,138}{0,109} = 74,6$$
$$R' = 0,07 \quad R = 0,05 \quad M = \frac{9,345}{0,186} = 50,2$$
$$R' = 0,08 \quad R = 0,05 \quad M = \frac{10,550}{0,271} = 39,1$$
$$R' = 0,09 \quad R = 0,05 \quad M = \frac{11,75}{0,363} = 32,3$$
$$R' = 0,10 \quad R = 0,05 \quad M = \frac{13,01}{0,462} = 28,2$$
$$R' = 0,15 \quad R = 0,05 \quad M = \frac{18,09}{1,02} = 18,7$$
$$R' = 0,20 \quad R = 0,05 \quad M = \frac{25,205}{1,674} = 15,0$$

Wenn die Umgebungen mit Weißblech bedeckt wären, so würde man K = 0,4 haben, und die Werthe von Q würden folglich werden:

3,10	3,00	2,93	2,88	2,84	2,72	2,65

und man würde die Werthe für M finden

53,8	40,8	33,3	28,8	25,7	17,8	14,6

Der Einfluß der geringen Ausstrahlung der Oberfläche verringert sich in dem Maaße, als die Dicke der Schicht zunimmt, weil der Werth von C in Beziehung auf den Ausdruck Q R' N sich stets vermindert und weil, wenn man C vernachlässigen könnte, der Werth von M gänzlich unabhängig von Q werden würde.

889. Bei den vorhergehenden Berechnungen haben wir 0,04 für den Werth von C zugelassen; wenn man eine 2 mal, 4 mal, 8 mal und n mal größere Leitungsfähigkeit nähme, so würde es zur Erlangung der entsprechenden Werthe von M hinreichend sein, den Zähler der Brüche, welche die

Werthe von M in der vorhergehenden Tabelle darstellen, durch 2, 4, 8 . . . und n zu multipliciren und zu dem Nenner 0,04; 0,12; 0,28 . . . 0,04 (n—1) zu addiren. Auf diese Weise hat man die folgenden Werthe erhalten, welche denselben Werthen von R' und denselben inneren und äußeren Temperaturen entsprechen. Die von dem unbedeckten Cylinder emittirte Wärmemenge würde stets gleich 252,77 sein.

Tabelle der Wärmemengen, die durch das laufende Meter einer horizontalen cylindrischen Röhre transmittirt worden sind; dieselbe hatte 0,05 Meter Halbmesser, war auf 100° erwärmt, befand sich in einer Umgebung von 15° und war mit einer Hülle von verschiedener Dicke und verschiedener Leitungsfähigkeit umgeben.

Leitungsfähigkeit.	Dicken der umgebenden Schicht. 0,01 M.	0,02 M.	0,03 M.	0,04 M.	0,05 M.	0,10 M.	0,15 M.
	Mengen der durchgelassenen Wärme.						
0,04	74,6	50,2	39,1	32,3	28,2	18,7	15,0
0,08	109,2	82,7	67,8	58,3	51,8	34,1	29,4
0,16	142,1	122,1	107,9	97,3	89,4	63,4	56,6
0,32	167,3	160,4	153,1	146,3	140,2	111,3	103,2
0,64	183,6	190,2	193,8	195,2	196,0	178,6	177,3
1,28	193,3	209,7	223,4	234,5	244,6	256,1	276,7
2,56	198,0	221,0	241,9	260,8	279,2	327,0	384,6
5,12	200,7	227,1	252,3	276,3	300,4	379,6	477,6

890. Man ersieht aus dieser Tabelle, daß sich die Werthe von M sehr schnell mit der Zunahme der Dicke vermindern, wenn die Leitungsfähigkeit sehr gering ist; daß die Veränderungen sehr schwach sind, wenn C = 0,64 und daß für größere Werthe von C die Werthe von M mit der Dicke des umgebenden Materiales zunehmen. Für andere Werthe des Halbmessers von dem innern Cylinder hat man immer dieselben Erscheinungen, jedoch für andere Dicken.

891. Da man oft Dampf durch Röhren leitet, in denen es von Wichtigkeit ist, die Condensation möglichst zu vermindern, hat der Verfasser nachstehende Tabelle berechnet, welche die Mengen der emittirten Wärme auf das laufende Meter von verschiedenem Halbmesser durch Dampf erwärmt,

mit verschiedenen Dicken baumwollener Stoffe bedeckt und in einem Raume von 15° Wärme befindlich angiebt. Für jeden Halbmesser des Cylinders und für jede Dicke des umgebenden Ueberzuges giebt die Tabelle zwei Zahlen; diejenige, welche die größere ist, stellt die von dem laufenden Meter emittirte Wärmemenge dar, und die kleinere Zahl das Verhältniß dieser Menge mit der, welche verloren würde, wenn die Röhre keine Decke hätte. Dabei ist oxydirtes Roheisen und seine Ausstrahlung gleich 3,35 angenommen.

Halbmesser des Cylinders.	Dicken der umgebenden Schicht.							
	0,00 M.	0,01 M.	0,02 M.	0,03 M.	0,04 M.	0,05 M.	0,10 M.	0,15 M.
	Wärmemengen, die durch ein laufendes Meter transmittirt werden.							
0,01	75,92	22,40 (0,295)	16,5 (0,217)	13,9 (0,183)	12,3 (0,162)	11,2 (0,147)	8,7 (0,114)	7,9 (0,104)
0,02	120,15	35,8 (0,298)	25,6 (0,213)	20,9 (0,174)	17,7 (0,147)	15,6 (0,129)	11,5 (0,095)	9,8 (0,081)
0,03	164,33	49,0 (0,298)	33,7 (0,305)	26,7 (0,162)	22,8 (0,138)	20,1 (0,122)	14,1 (0,085)	11,6 (0,070)
0,04	208,56	61,7 (0,295)	41,8 (0,200)	33,3 (0,159)	27,5 (0,131)	24,2 (0,111)	16,4 (0,078)	13,4 (0,064)
0,05	252,64	74,5 (0,294)	50,2 (0,198)	39,1 (0,154)	32,4 (0,128)	28,2 (0,111)	18,7 (0,073)	15,0 (0,058)
0,10	473,51	137,7 (0,290)	90,2 (0,190)	68,2 (0,144)	55,8 (0,117)	47,7 (0,100)	29,3 (0,061)	22,6 (0,047)
0,15	694,84	200,8 (0,289)	130,4 (0,187)	97,6 (0,140)	78,7 (0,113)	66,4 (0,095)	39,6 (0,057)	30,8 (0,044)
0,20	916,20	263,9 (0,288)	169,3 (0,184)	125,8 (0,139)	101,5 (0,107)	85,4 (0,093)	49,9 (0,054)	38,2 (0,041)

892. Bei dem Vorhergehenden ist angenommen worden, daß der Werth von Q constant sei, d. h. daß das Newton'sche Gesetz, welches sich auf die Abkühlung bezieht, für alle Temperaturüberschüsse existire. Dies ist aber nicht der Fall, wie wir (805) gesehen haben, und der Werth von Q nimmt hinlänglich rasch mit der Temperatur zu. Es können daher die verschiedenen Werthe von M, nach der Formel (a) berechnet, nicht als an=

nähernde und um so genauere Werthe angesehen werden, je kleiner sie sind, weil der Temperaturüberschuß mit M zunimmt. Es ist jedoch in jedem besondern Falle leicht, einen Werth von der durchgelassenen Wärmemenge, der der Wirklichkeit nahe steht, zu erhalten. Wir wollen annehmen, daß man den Werth von M durch die Formel (885) berechnet habe; dividirt man diesen Werth mit SQ, so wird man die Temperatur t der Oberfläche erhalten und mittelst der in der Tabelle (796) und auch in (804) enthaltenen Formeln wird man einen neuen Werth Q_1 aus Q ableiten, dann neue Werthe M_1 und t_1 und so fort, bis die auf einander folgenden Werthe von M gleich sind.

Wir wollen als Beispiel eine gußeiserne Röhre von 0,5 M. Halbmesser annehmen, die mit einer 0,01 M. dicken Schicht Baumwolle bedeckt ist, Dampf von 100° enthält und in Luft von 15° Temperatur angebracht ist. Wir haben bereits für diesen Fall M = 74,6 gefunden. Da nun die äußere Oberfläche des laufenden Meters 0,377 Q.-M. ist, so beträgt der Temperaturüberschuß der Oberfläche $\frac{74,6}{0,377} \times 6,35 = 31,21°$; der neue Werth von Q ist $Q_1 = 3,65 \cdot 1,22 + 2,70 \cdot 1,27 = 7,88$. Daraus kann man erhalten $M_1 = 80,1°$; $t_1 = \frac{80,1}{2,97} = 27°$; alsdann $Q_2 = 7,47 \cdot M_2 = 78,4$; und $t_2 = 27,84°$. Es ist demnach der Werth von M • 78 statt 74, ein Unterschied von geringer Bedeutung. Dieser Unterschied würde aber für stärkere Umhüllungen noch weit geringer sein.

893. Im Allgemeinen ist der zweite Ausdruck des Nenners von dem Werthe M, wenn die Röhren nur einen kleinen Durchmesser haben, sehr groß in Beziehung auf den ersten Ausdruck, wenigstens wenn der Mantel ein schlechter Wärmeleiter ist. In diesem Falle sieht man, daß der Nenner fast Q proportional ist wie der Zähler, und folglich, daß der Werth von Q geringen Einfluß hat. Auf diese Weise können die hier mitgetheilten Zahlenwerthe als hinreichende Annäherungen für die Praxis angesehen werden. Es verhält sich aber anders, wenn der Unterschied der Halbmesser nicht wechselt und wenn der Werth von R sehr groß ist, weil die Differenz der Logarithmen das zweite Glied des Nenners von M vorherrschend machen könnte, so daß man eine wesentliche Differenz zwischen den Resultaten des directen Calculs und denen der Annäherung, die weiter oben angegeben worden sind, finden könnte.

894. Als besonderes Beispiel wollen wir einen Fall annehmen, der bei fast allen Dampfgeneratoren vorkommt. Ihre Oberfläche ist im Allgemeinen mit einem schlechten Wärmeleiter bedeckt, und es ist von Wichtigkeit, den Einfluß der verschiedenen Substanzen kennen zu lernen, die man zur Verminderung des Wärmeverlustes anwenden kann. Wir wollen annehmen, daß der den Kessel umschließende Cylinder 1 M. Durchmesser habe; die auf das Q.-M. und in der Stunde emittirte Wärmemenge ist durch die nachstehende Formel gegeben:

$$M = \frac{QC(t - \theta)}{C + QR'n \log R'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

Wir wollen annehmen, daß man wie vorher Q = 2,1 + 3,65 =

5,75 habe, und daß die umhüllende Substanz aus Sägespänen, die mit etwas Thon vermengt sind, um sie bindend zu machen, besteht; wir können annehmen, daß C = 0,1 ist. Nimmt man für die Dicke der umgebenden Substanz

0,01 M. 0,02 M. 0,03 M. 0,04 M. 0,05 M.,

während die äußere Oberfläche dieses Mantels unbedeckt ist, so giebt die Formel (a) direct für M

292 213 168 141 116...... (1),

und durch das angegebene Verfahren der Annäherung (892)

340 232 180 146 110...... (2);

wenn die Oberfläche mit Zinnfolie bedeckt ist, so hat man für die Formel (a)

150 126 109 97 80...... (3),

und durch Annäherung

197 153 127 109 86...... (4).

Es folgt aus diesen Zahlen und daraus, daß die von der freien Oberfläche emittirte Wärme 6,11 ist, daß die Mäntel allein die Transmisssion der Wärme reduciren auf

0,506 0,346 0,27 0,217 0,164...... (5),

und dieselben Mäntel mit Zinkfolie überzogen auf

0,29 0,228 0,189 0,164 0,13...... (6).

Zinkfolie hat einen sehr großen Einfluß, der aber mit ihrer Dicke abnimmt, denn die entsprechenden Zahlenverhältnisse der Reihen (5) und (6) sind:

0,57 0,65 0,70 0,75 0,80...... (7).

Wir haben t = 100 angenommen; wäre die Temperatur höher, so würden die Werthe von M proportional t — θ sein, alsdann werden aber, da die emittirten Wärmemengen schneller steigen als die Temperaturüberschüsse, die Zahlen der Reihe (5) in dem Maaße abnehmen, als die Temperatur steigt.

Wenn z. B. der Dampf eine Temperatur von 145° hätte, welches etwa vier Atmosphären entspricht, so würde der Temperaturüberschuß 120° sein. Die durch die Hülle transmittirten Wärmemengen würden alsdann sein:

595 406 315 255 192

und die relativen Mengen der transmittirten Wärme

0,416 0,284 0,220 0,178 0,134.

Man würde im Wesentlichen für Mäntel von Tannen- und Nußbaumholz, die aus Bretern parallel mit den Fasern bestehen, dieselben Resultate erlangen.

895. **Transmission der Wärme durch kugelförmige Umgebungen.** — Bei denselben Verhältnissen, wie die weiter oben angegebenen, findet man:

$$M = -\frac{4\pi r^2 C dt}{dr}\ ;\ \text{oder}\ 4\pi C dt = -M\frac{dr}{r^2},$$

und indem man diese letztere Gleichung zwischen den Grenzen t und t' für t und R und R' für r integrirt, hat man

$$4\pi C(t - t') = M\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right)\ ;\ \text{daher}\ M = \frac{4\pi CRR'(t - t')}{R' - R}.$$

Da aber $M = 4\pi R'^2 Q\ (t - \theta)$, indem man t ausscheidet, findet man

$$M = \frac{4\pi CQRR'(t - \theta)}{CR + QR'(R' - R)},$$

eine Gleichung, in welcher M die von der ganzen Oberfläche der Kugel emittirte Wärmemenge darstellt. Um die von dem Quadratmeter ausgeströmte zu erhalten, müßte man M mit $4\pi R'^2$ dividiren.

Diffusion der Wärme.

896. Im Vorhergehenden haben wir die Transmission der Wärme durch die Körper unter Verhältnissen betrachtet, welche eine vollständige Permanenz der Temperatur voraussetzten; in diesem Falle sind die Transmissionsgesetze sehr einfach, und es gestatten die mitgetheilten Formeln die durchgelassenen Wärmemengen in den verschiedenen, gewöhnlich vorkommenden Fällen zu berechnen. Ehe aber bleibende Verhältnisse in den Körpern mit zwei Oberflächen, von denen die eine die Wärme aufnimmt und die andere sie verbreitet, hergestellt werden und während der ganzen Dauer der Erwärmung nach einer Richtung hin unbestimmter Körper, sind die Temperaturen der verschiedenen Punkte nach ihren Stellungen und der Zeit nach sehr verschieden, und es wird diese Verschiedenheit durch sehr verwickelte Gesetze bedingt. Dieselben hängen zu gleicher Zeit von der Form der Körper, von der Leitungsfähigkeit ihres Materiales, von ihrer Wärmecapacität und Dichtigkeit ab; auch sind es nicht immer materielle Körper, welche die Wärme am Besten leiten und sie am Leichtesten verbreiten, weil die Verbreitung von dem Verhältniß der Leitungsfähigkeit und der Wärmecapacität des Materiales abhängt.

897. Nimmt man an, daß eine unbestimmte ebene Oberfläche, die in einer Temperatur T erhalten wird und die sich unter einem gleichför-

migen Körper von einer sehr großen Dicke befindet, welche die Temperatur von 0^{0} hat, so werden nach einer Minute die Temperaturen bei Entfernungen von:

	0,001 M.,	0,01 M.,	0,1 M.,	1,0 M.
sein				
Für den Sand	0,988 T;...	0,887 T;...	0,154 T;...	0,000
Für Bau-Kalkstein	0,997 T;...	0,973 T;...	0,745 T;...	0,001 T
Für das Eisen	0,999 T;...	0,992 T;...	0,924 T;...	0,339 T
Für grobkörnigen Marmor .	0,999 T;...	0,993 T;...	0,938 T;...	0,439 T
Für Baugyps	0,996 T;...	0,962 T;...	0,624 T;...	0,000
Für stehendes Wasser ...	0,993 T;...	0,939 T;...	0,399 T;...	0,000

898. Die Formel, welche zur Berechnung dieser Zahlen gedient hat, ist eine genaue Folgerung des elementaren Transmissionselementes der Wärme, welches durch eine große Menge von Versuchen bestätigt worden ist, so daß sich gar nicht an seiner Genauigkeit zweifeln läßt. Bei Aufstellung dieser Formeln hat man die Wirkung der Ausdehnung und der Veränderungen der Wärmecapacitäten durch die Temperatur unberücksichtigt gelassen; da jedoch bei festen Körpern die Ausdehnungen, sowie die Veränderungen der Wärmecapacitäten und wahrscheinlich auch die Veränderungen der Leitungsfähigkeit gering sind, so stellen die Formeln die Thatsachen mit einer bedeutenden Annäherung dar. Alsdann zeigen die hier mitgetheilten Zahlen, mit welcher Schnelligkeit sich die Wärme in den Körpern verbreitet, selbst in denen, welche schlechte Leiter sind, sobald die Temperatur eine permanente geworden ist.

899. Wenn man die Formel auf ruhige Luft anwendete, welches der Fall sein würde, wenn sie oben erwärmt wäre, so würde man offenbar nur eine sehr entfernte Annäherung erhalten, und zwar wegen der großen Ausdehnung, welche sie durch die unbekannten Ursachen ihrer Leitungsfähigkeit unter Zunahme der Temperatur erleiden würde. Da jedoch die Resultate des Calculs wenigstens einen Begriff von der Geschwindigkeit geben können, mit der sich die Wärme in diesen Körpern verbreitet, wollen wir sie angeben. Nach einer Minute und bei Entfernungen von

0,001 M. .... 0,01 M. .... 0,1 M. .... und 1 M.

sind die von der Formel angegebenen Temperaturen

0,999 T; .... 0,996 T; .... 0,960 T; .... 0,620 T; ....

und nach 1, 4, 9, 16, 25, 36 Secunden würden die Temperaturen bei gleichen Entfernungen sein

1″.....	0,997 T;......	0,973 T;......	0,730 T;......	0,00056 T
4″.....	0,998 T;......	0,986 T;......	0,865 T;......	0,0844 T
9″.....	0,999 T;......	0,991 T;......	0,908 T;......	0,2520 T
16″.....	0,999 T;......	0,993 T;......	0,931 T;......	0,38851 T
25″.....	0,999 T;......	0,994 T;......	0,948 T;......	0,4900 T
36″.....	0,999 T;......	0,995 T;......	0,954 T;......	0,5710 T

Wenn die angewendete Formel genau auf die Luft anwendbar wäre, so würde daraus folgen, daß die Wärmevertheilung durch die Luft weit größer als die durch die anderen Körper sein würde; man kann aber aus diesen Resultaten folgern, daß die Verbreitung der Wärme durch die Luft mit einer großen Schnelligkeit bewirkt wird. Uebrigens erklärt diese Thatsache sehr viel eigenthümliche Erscheinungen.

900. In den Kirchen, die mit warmer Luft erwärmt werden, die aus einer gewissen Anzahl von Oeffnungen in dem Boden ausströmt, differiren die Temperaturen der Luft in 2 und in 20 M. Höhe kaum um 1°, wie dies in mehreren Pariser Kirchen bestätigt worden ist. Bei der von der Berührung der Luft herrührenden Abkühlung der Körper nimmt die verlorene Wärme sehr langsam mit der Höhe der Körper ab, welches sich nur durch die leichte Zerstreuung der Wärme in der Luft erklären läßt. Es folgt auch aus dieser Thatsache, daß bei der Zimmerheizung durch offene Kamine nicht allein ein Theil der Strahlung, sondern auch ein Theil der hervorgebrachten Wärme benutzt wird, welche sich in der umgebenden Luft vertheilt.

901. Der Oberingenieur der Brücken und Chausseen Darcy hat sehr interessante Versuche über die Abkühlung des warmen Wassers aus dem artesischen Brunnen zu Grenelle bei Paris, welches durch unter der Erdoberfläche liegende Röhren fortgeleitet wird, angestellt. Die Gesammtlänge der gußeisernen Röhren betrug 2320 M., ihr Durchmesser schwankte von 0,162 bis 0,25. Das Volum des in der Secunde ausfließenden Wassers betrug 3,68 Liter; die Abkühlung von 26,75° bis 20,90°, d. h. 5,85°; der Wärmeverlust in der Secunde war demnach 3,68 · 5,85 = 21,53 Wärmeeinheiten, und in der Stunde 21,50 · 3600 = 77508 Wärmeeinheiten; und da die Röhren eine Gesammtoberfläche von 15027,84 M. hatten, so betrug die auf das Q.-M. und in der Stunde ausgeströmte Wärme $\frac{77508}{1527,84} = 50,70$ für eine mittlere Temperatur von 23,8°. Die Zeit, welche ein Schnitt der Flüssigkeit gebrauchte, um die Länge des Canals zu durchlaufen, betrug 3 Stunden 30 Minuten. Die stehende Flüssigkeit hat sich in 7 Stunden um 5,5° abgekühlt. Es ist wahrscheinlich, daß sich die Transmission wie die Temperatur der Röhre verhält und daß sie, wie bei dem Dampf, 200 bis 300 Wärmeeinheiten beträgt.

902. Einfluß der äußeren Temperaturveränderungen auf die durch die Mauern durchgelassenen Wärmemengen. — Bei dem über die Wärmetransmission durch schlecht leitende Körper Gesagten, haben wir angenommen, daß die innere und die äußere Temperatur constant wären; gewöhnlich wird die Erwärmung so geleitet, daß sich die innere Temperatur nicht verändert, allein die Wärmetransmission ist stets dem Einfluß der äußeren Temperaturveränderungen unterworfen. Diese Veränderungen sind zweierlei Art: die allgemeine Ab- und Zunahme der mittlern äußern Temperatur während der Jahreszeit, in welcher geheizt werden muß, und die zufälligen Störungen, welche sich häufig jeden Tag zeigen. Wir wollen die Einflüsse dieser beiden Arten von Veränderungen nach und nach untersuchen.

In unserem Klima wird im Allgemeinen vom Anfang October bis zu Ende April geheizt, und während dieser sieben Monate sind die mittle-

ren äußeren Temperaturen nach sechsjährigen Erfahrungen (für die Breite von Paris)

October.	November.	December.	Januar.	Februar.	März.	April.
11°	7,3°	3,01°	2,29°	4,34°	6,59°	10,49°

Nimmt man an, daß die innere Temperatur von 15° erhalten werde, daß die Mauern sämmtlich der Luft ausgesetzt sind und daß ihre Stärken 1 M. betragen, so wird die Gesammtmenge der Wärme, welche durch das Q.-M. während der ganzen Dauer der Heizung übertragen ist, bei der Annahme, daß die Temperatur fortwährend constant bleibt, betragen (871) 7,03 • 210 • 24 = 35431 Wärmeeinheiten, und es würde die in der Mauer bei 15° eingeschlossene Wärme betragen 1000 • 2,2 • 0,2 • 15 = 6600. Da diese letztere Menge nur 12 Hunderttheile von der erstern beträgt und die Abkühlung der Mauer niemals vollständig ist, so wird man leicht begreifen, daß wenn die Temperaturveränderungen continuirlich und ohne plötzliche Schwankungen stattfänden, sei das Gesetz, nach welchem sich die Mauer in der ersten Periode des Winters abkühlt und nach welchem sie in der zweiten sich wieder erwärmt, welches es wolle, die nach und nach von der Mauer entwickelten und absorbirten Wärmemengen nur einen geringen Einfluß auf die Transmission, bei Annahme einer fortwährenden Temperaturgleichheit, haben könnten. Man sieht außerdem, daß während der Abnahme der äußern Temperatur die Abkühlung der Mauer nur um eine geringe Menge der gelieferten Wärme sich erhalten könnte, um die innere Temperatur zu erhalten, und daß während der Zunahme der äußern Temperatur mehr Wärme geliefert werden mußte, um die ursprüngliche Temperatur der Mauern wieder herzustellen.

903. Nach dem Gesagten zeigt die Curve, die mittleren monatlichen Temperaturen in den Heizmonaten nur im Minimum, allein an jedem Tage giebt es mehrere successive Schwankungen in entgegengesetzter Richtung, so daß die wirkliche Curve der Temperaturen sehr viel Krümmungen um die Curve der mittleren Temperaturen darbietet. Diese Veränderungen wirken direct auf die Fenster durch den erwärmten Raum, weil die Glasscheiben fast augenblicklich eine mittlere Temperatur zwischen dem innern und dem äußern Raum einnehmen. Anders verhält es sich mit den Mauern: sie liefern, wenn die äußere Temperatur sinkt, eine gewisse Wärmemenge, und wenn die äußere Temperatur sich wieder auf den anfänglichen Punkt erhebt, so absorbiren sie dieselbe Wärmemenge, so daß die zur Hervorbringung einer constanten Temperatur erforderliche Wärmemenge sich weit weniger schnell verändert als die äußere Temperatur. Da diese Schwankungen gleich sind und entgegengesetzte Zeichen rings um die mittlere Temperaturcurve haben, mag die Art und Weise, wie die partiellen Abkühlungen und Wiedererwärmungen der Mauer bewirkt werden, sein wie sie wolle, so heben sich endlich die Verluste und die Gewinne, und der gesammte Wärmeverbrauch während der Dauer der Heizung bleibt derselbe, als wenn die äußere Temperatur stets diejenige gewesen wäre, welche der Curve der mittleren monatlichen Temperaturen entspricht, oder auch wenn die äußere Temperatur stets die mittlere geblieben wäre, wie die Erfahrung es beweist.

904. Die Erscheinungen, welche sich in den Mauern durch plötzliche äußere Temperaturveränderungen zeigen, sind sehr verwickelt. Erfolgt eine

Erkaltung, so steigt der Verlust durch die äußere Oberfläche, und es erfolgt eine Temperaturverminderung, die sich nach und nach bis zu der innern Oberfläche fortpflanzt; und wenn diese Temperatur der äußern Luft eine hinreichende Zeit dauert, so wird in der Mauer eine ganz andere mittlere Temperatur hergestellt werden. In diesem Zeitraume erleiden die Temperaturen der verschiedenen Punkte der Mauer Veränderungen, die zu berechnen wirklich unmöglich sein würde, denn es würden diese Berechnungen noch viel verwickelter als diejenigen der Wärmetransmission in einem unbestimmten Mittel und in einer constanten Temperatur sein (897). Da aber die Mauern selten eine Dicke über 0,50 M. haben, da die Wärmeverbreitung durch die Körper selbst von geringer Leitungsfähigkeit wie die Brennmaterialien mit einer großen Geschwindigkeit bewirkt wird, und da die Temperaturdifferenzen der beiden Oberflächen nur wenige Grade betragen, so kann man annehmen, daß während aller Temperaturveränderungen, welche der neuen mittlern Temperatur vorangehen, die Temperaturen der verschiedenen Punkte der Mauern stets gleichförmig von dem Aeußern nach dem Innern zunehmen. Diese Annahme findet freilich in der Wirklichkeit nie statt, allein sie erlaubt die Erscheinungen, welche eine Abkühlung der äußern Luft begleiten, fast gänzlich verfolgen zu können.

Wir wollen zuvörderst eine Mauer annehmen, die einem Zimmer angehört, dessen äußere Flächen nicht ausgesetzt sind; nehmen wir nun, wie in dem Art. 886 $T = 15^0$; $\theta = 6^0$; $C = 1,70$ und $e = 0,50$, so werden wir $t = 12,56^0$; $t' = 8,99^0$ und $M = 16,23$ haben. Wenn die äußere Temperatur 0^0 würde, so würden die Formeln (a) (864) geben $t = 10,87^0$; $t' = 4,12^0$ und $M = 22,93$. Die durch die Mauer auf das Q.-M. verlorene Wärme, um zu einem zweiten mittlern Temperaturzustande zu gelangen, würde sein:

$$1000 \cdot 0,5 \cdot 2,22 \cdot 0,21 \left[\frac{12,56 + 8,99}{2} - \frac{10,87 + 4,12}{2}\right] = 382 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Da diese Abkühlung stattfindet, während die Temperatur der äußern Oberfläche von $8,99^0$ auf $4,12^0$ sinkt, so ist diese Abkühlung eine abnehmende. Nimmt man die Hypothese von der gleichförmigen Abänderung der Temperatur an, so wird diese Abkühlung in derselben Zeit stattfinden, als wenn der Temperaturüberschuß der äußern Oberfläche gleich $\frac{8,99^0 + 4,12^0}{2}$ oder gleich $6,55^0$ wäre; oder da nun für einen Temperaturüberschuß von $8,99^0$ stündlich 16,23 Wärmeeinheiten verloren gehen, so würde die fragliche Erkaltung in einer Anzahl von Stunden bewirkt werden können, die gleich $\frac{283 \cdot 1,37}{16,23} = 32$. Hierbei ist vorausgesetzt, daß die innere Temperatur stets auf 15^0 erhalten sei und daß die Abkühlung der Mauer auf die angegebene Weise erfolgte; in der Wirklichkeit wird aber die Abkühlung weit weniger rasch erfolgen, da die Temperatur der äußern Oberfläche viel niedriger sein wird, als wir angenommen haben, und da die Temperaturen der verschiedenen Mauerschnitte nach einem andern Gesetz auf einander folgen, welches ebenfalls dazu beitragen wird, die Abkühlung zu verzögern.

905. Man ersieht hieraus, daß wenn ein Zimmer nur durch seine

Mauern abgekühlt würde, die Schwankungen der äußern Temperatur sich nur sehr langsam und sehr vermindert im Innern erweisen würden. Allein die Zimmer haben stets Glasfenster, und da das Glas fast augenblicklich die mittlere Temperatur zwischen der innern und der äußern annimmt, so sind, um das Zimmer in einer constanten Temperatur zu erhalten, Wärmezunahmen erforderlich, welche mit der äußern Temperatur schwanken und die im Allgemeinen sehr groß gegen diejenigen sind, welche aus der Transmission der Wärme durch die Mauern erfolgen würden. Wir wollen z. B. ein Zimmer annehmen, von welchem nur eine Wand der Luft ausgesetzt ist, die 4 Q.-M. Glasoberfläche und 6 Q.-M. Maueroberfläche von 0,50 M. Dicke hat; da die innere Temperatur 15° und die äußere 6° beträgt, so wird die gesammte transmittirte Wärme sein (881 und 868): $4 \cdot 23 + 6 \cdot 16{,}23 = 92 + 97{,}38$. Nimmt man an, daß die äußere Temperatur auf 0° sinke, so wird die durch die Scheiben transmittirte Wärmemenge unmittelbar von 92 auf 153 steigen, während die Transmission durch die Mauern nur sehr langsam in 32 Stunden von 97,38 auf 137,58 steigen wird, in der Wirklichkeit aber gewiß in einer noch weit längern Zeit. Es haben daher die Scheiben einen weit größern Einfluß als die Mauern auf die inneren Temperaturveränderungen oder auf die zur Erhaltung der Temperatur zu liefernden Wärmemengen, wenigstens wenn die Mauern nicht sehr dünn sind und nicht sehr große Ausdehnung im Verhältniß zu den Fenstern haben.

906. Da es von Wichtigkeit ist, einen sehr genauen Begriff von den Temperaturveränderungen zu erlangen, die auf den Oberflächen der Mauern während der Periode des Heizens entstehen, sowie auch von den Wärmemengen, die für verschiedene Werthe der äußern Temperatur transmittirt sind, sowie endlich von der in den Mauern eingeschlossenen Wärmemenge, hat der Verfasser diese verschiedenen Elemente für Mauern von 0,5 M., 1,0 M., 1,5 M. und 2 M. Dicke nach den Formeln (870) berechnet, wobei angenommen worden ist, daß alle Mauern der Luft ausgesetzt seien. Es ist $C = 1{,}70$; $K = 3{,}60$; $K' = 1{,}96$; $Q = 5{,}56$ angenommen worden; nimmt man ferner an, daß die Dichtigkeit des Steines gleich 2,2 und seine Wärmecapacität gleich 0,2 sei, so wird die in 1 Q.-M. Mauer von der Temperatur v eingeschlossene Wärmemenge gleich sein:

$$1000 \cdot e \cdot 2{,}2 \cdot 0{,}2 \cdot v = 440 \cdot ev.$$

Wenn die Temperaturen gleichförmig von t bis t' zwischen den beiden Oberflächen wechselten, so würde die in der Mauer eingeschlossene Wärmemenge, von 0° ausgehend, sein:

$$440 \cdot e \, \frac{t + t'}{2}$$

Der Verfasser wird sie mit A bezeichnen, und man wird daher, indem man T die innere Temperatur des Zimmers und θ die äußere Temperatur nennt, ferner für $e = 0{,}50$ M. haben:

$$t = 0{,}48T + 0{,}52\theta. \quad t' = 0{,}18T + 0{,}817\theta. \quad M = 1{,}015(T - \theta).$$
$$A = 220\,(0{,}33T + 0{,}668\theta);$$

für $e = 1{,}00$ M.,

$$t = 0{,}60T + 0{,}4\theta. \quad t' = 0{,}14T + 0{,}86\theta. \quad M = 0{,}782\,(T - \theta).$$
$$A = 440\,(0{,}37T + 0{,}68\theta);$$

für $e = 1{,}50$ M.,

$$t = 0{,}675T + 0{,}32\theta. \quad t' = 0{,}114T + 0{,}89\theta. \quad M = 0{,}635\,(T - \theta).$$
$$A = 6{,}60\,(0{,}39T + 0{,}60\theta);$$

für $e = 2$ M.,

$$t = 0{,}726T + 0{,}27\theta. \quad t' = 0{,}096T + 0{,}90\theta. \quad M = 0{,}535\,(T - \theta).$$
$$A = 880\,(0{,}41T + 0{,}58\theta).$$

Unterbrochene Heizung.

907. In dem Vorhergehenden haben wir eine ununterbrochene Heizung angenommen; aber häufig wird sie während der Nacht unterbrochen, nnd ein andermal wird nur während einer sehr beschränkten Zeit geheizt. Es sind daher zwei Fragen zu untersuchen, der Wärmeverlust durch Unterbrechung der Heizung während der Nacht und die Menge der zu verbrauchenden Wärme, um während einer gewissen Zeit ein Zimmer in einer gewissen Temperatur zu erhalten.

908. **Durch die Mauern bei Unterbrechung der Heizung verlorene Wärme.** — Während dieser im Allgemeinen in der Nacht stattfindenden Unterbrechung veranlaßt die durch die äußeren Mauern ausströmende Wärme eine gewisse Abkühlung in ihrer Masse und folglich auch eine gewisse innere Abkühlung, die zu derjenigen gefügt werden muß, welche von dem Glase herkommt. Diese Abkühlung der Zimmer während der Unterbrechung der Heizung ist eine sehr wichtige, unglücklicher Weise aber sehr verwickelte Frage, bei welcher jedoch theoretische Betrachtungen zu für die Praxis nützlichen Resultaten führen können.

909. Wir wollen den einfachsten Fall annehmen, den, bei welchem alle Zimmerwände der Luft ausgesetzt sind; es befinden sich alsdann alle inneren Oberflächen im Wesentlichen auf demselben Temperaturgrade, und die durch die Wände emittirte Wärme wird nur von derjenigen herrühren, welche die Mauern in sich enthalten. Der Verfasser hat es versucht, die Temperaturen der verschiedenen Punkte der Mauer zu irgend einer beliebigen Zeit ihrer Abkühlung zu berechnen, wobei er die Formeln von Fourier benutzte. Man gelangt alsdann leicht auf eine sehr einfache Gleichung, welche die Temperatur irgend eines Punktes im Verhältniß zu allen Daten dieser Frage bestimmt. Diese Gleichung enthält willkürliche Constanten, deren Werth man leicht unter der Voraussetzung bestimmt, daß im Anfang der Abkühlung die Temperaturen an den verschiedenen Punkten der Mauer nach dem Abkühlungsgesetz auf einander folgen; allein um sie in der Art zu bestimmen, daß von Anfang der Abkühlung an die Temperaturen die der Transmission seien, würde man sehr lange Berechnungen vornehmen müssen und zu sehr zusammengesetzten Formeln von sehr vielen Gliedern gelangen, die jedoch in der Praxis gar keinen Nutzen haben wür-

den. Man kann jedoch nachstehende Thatsachen als sehr bestimmt, durch die Erfahrung und das Calcul erwiesen, annehmen.

1) Wenn eine Mauer ihrer eigenen Abkühlung überlassen wird, so erfolgt die der äußern Oberfläche sehr schnell, um so mehr, als ihre Leitungsfähigkeit und ihre Wärmecapacität sehr gering sind. Die Linie der inneren Temperaturen, die eine gerade Linie wäre, wenn eine regelmäßige Transmission stattfände, wird eine krumme Linie, die in mit der Zeit steigenden Entfernungen die gerade Linie der Transmission durchschneiden. Die Curve der Erkaltung nähert sich alsdann mit der Zeit immer mehr der der regelmäßigen Abkühlung, indem man annimmt, daß der ursprüngliche Zustand der der regelmäßigen Abkühlung war, welcher den Zeiträumen entsprach.

2) Die durch die Wand transmittirte Wärmemenge, die einzig aus ihrer Abkühlung hervorgeht, ist niemals ein sehr kleiner Bruch von derjenigen, die bei einer regelmäßigen Transmission erfolgen würde.

3) Die durch eine Wand während zehn Stunden verlorene Wärmemenge ist im Allgemeinen nur ein kleiner Theil von derjenigen, die sie zu Anfang der Abkühlung enthielt, wenigstens für Mauern von 0,50 M. Dicke. Nimmt man z. B. $T = 15$; $\theta = 6$; $t = 10{,}33$; $t' = 7{,}64$; $M = 9{,}14$ (871), so würde die in jedem Q.-M. Oberfläche eingeschlossene Wärmemenge sein $500 \cdot 2{,}2 \cdot 0{,}2 \cdot 8{,}98 = 1975$; während die Wärmemenge, die in zehn Stunden durch eine regelmäßige Transmission verloren ginge, nur $9{,}14 \cdot 10 = 91{,}4$ von der durch die Abkühlung verlorenen und weit geringer sein würde.

4) Die Abkühlung während der Unterbrechung der Heizung rührt hauptsächlich von der Transmission der Wärme durch die Fensterscheiben und durch die Ritzen der Thüren und Fensterrahmen her, da die Esse als Sauger wirkt.

910. Momentane Heizung eines Zimmers. — Wenn ein Zimmer nur während einer kurzen Zeit benutzt werden soll, so kann man es entweder mit erhitzter Luft allein, oder mittelst Strahlung und erhitzter Luft heizen; in allen Fällen wird der Wärmeverlust durch die Wärme dargestellt, welche durch die Fensterscheiben geht, und durch die, welche von den Mauern aufgenommen wird. Die von den Mauern durch Strahlung oder durch die Luftströme, welche sich an ihrer Oberfläche abkühlen, aufgenommene Wärme pflanzt sich nach und nach in ihrer Dicke, nach sehr verwickelten Gesetzen fort. Wenn die Luft des Zimmers zu einer gewissen Temperatur gebracht ist und die Heizung aufhört, so erfolgt eine sehr schnelle Erkaltung, weil die Wärme in die Mauern und in die Fensterscheiben nicht allein durch die niedergehenden Luftströmungen, sondern auch durch die Vertheilung der Wärme durch die Luftmasse gelangt; um daher die Luft in einer wesentlich constanten Temperatur zu erhalten, ist eine ununterbrochene Heizung erforderlich.

Bemerkungen zur Benutzung der Formeln.

911. Alle Berechnungen, welche wir in Beziehung auf die Wärmetransmission machen, können nicht als genau angenommen werden. Die, welche sich auf die elementaren Transmissionen beziehen, beruhen auf zwei Hypothesen, die nur innerhalb gewisser Grenzen wahr sind. Die eine ist

das Newton'sche Gesetz für die Abkühlung, welches nur eine Annäherung für geringe Temperaturüberschüsse ist, und die Annahme, daß alle der Luft ausgesetzten Punkte der Körperoberfläche eine gleiche Temperatur haben. Dies ist aber nicht genau, denn die unteren Theile haben stets eine niedrigere Temperatur als die oberen. In Beziehung auf die Formeln, welche die Transmissionen der Wärme durch die Mauern darstellen, sind die beiden gemachten Annahmen (864 und 870) nur extreme Fälle, zwischen denen jeder besondere Fall vorhanden ist; die geringsten Bewegungen der Luft haben einen großen Einfluß auf die Wärmemenge, die sie wegnimmt. Für die der freien Luft ausgesetzten Körper gestatten die zufälligen und periodischen Veränderungen, die sie erleiden, niemals eine mittlere innere Temperatur. Endlich muß man bei den vorhergehenden Berechnungen für die Leitungsfähigkeit Zahlen annehmen, die für alle Körper mit Ausnahme der Faserstoffe nicht vollkommen genau sind, denn sie hängen von der Dichtigkeit, bei den Gesteinen von ihrer krystallinischen Beschaffenheit, bei den hölzernen Körpern von der Richtung der Fasern ab. Man kann daher die Resultate des Calculs nur als hinlängliche Annäherungen ansehen, um den Ingenieur zu leiten. Die Heizungs- und Ventilationsapparate haben aber stets unter den gewöhnlichen Verhältnissen einen bedeutenden Ueberschuß der Kraft, weil sie für die ungünstigsten Umstände berechnet werden mußten. Es sind hierher zu rechnen die Größe der Kraft, der man bei Untersuchung der Thermometer und Anemometer durch die Bewegung der Register und durch das Schüren des Rostes begegnen will. Es gehört ferner hierher die Unsicherheit des Calculs, der stets nur in sehr beschränkten Grenzen richtig sein kann nnd daher auf die größeren Leistungen der Apparate übertragen wird, obgleich dieselben nur in seltenen Fällen und bei kurzer Dauer erforderlich sind. Dies ist aber nicht allein bei den Heizapparaten der Fall; bei allen Anwendungen beruhen die Berechnungen stets auf gewissen Daten, die jedoch nur annähernd bekannt sind, und die Apparate müssen, sei ihre Benutzung welche sie wolle, stets eine größere Leistungsfähigkeit oder eine größere Widerstandsfähigkeit haben, um die Unsicherheiten des Calculs zu vermeiden, oder ausnahmsweisen Verhältnissen zu entsprechen.

Ende des ersten Bandes.

Druckfehlerverzeichniß.

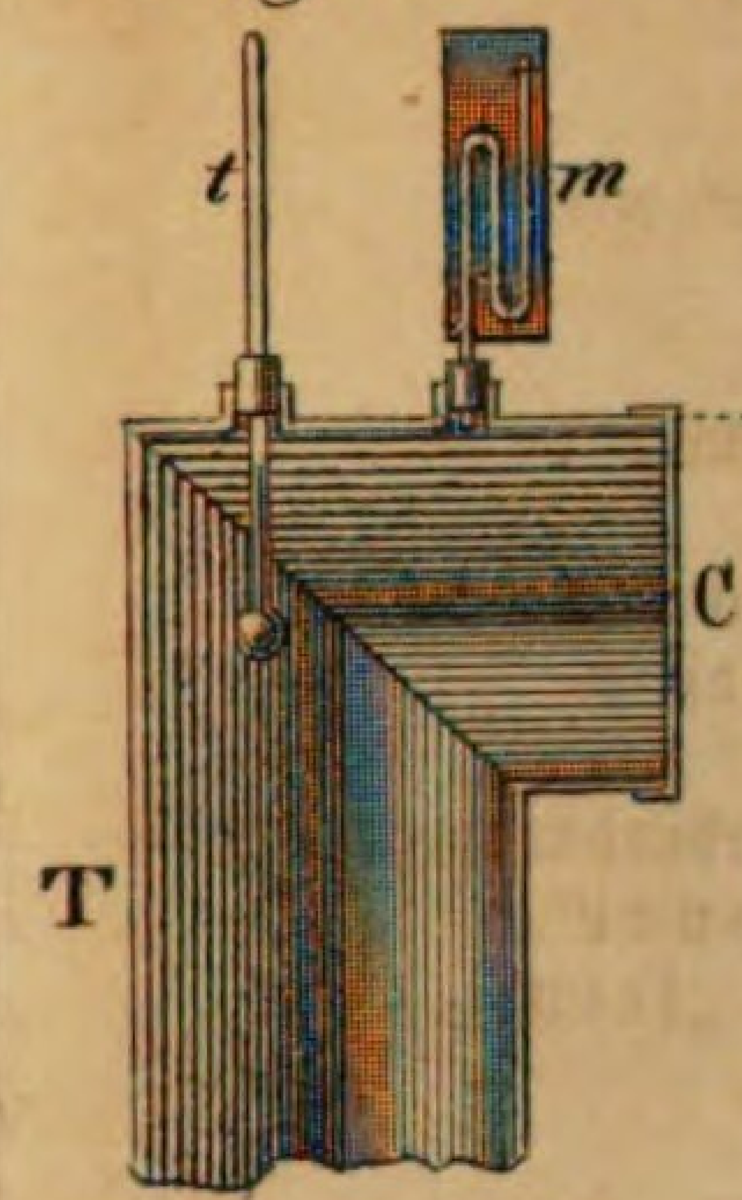
In der ersten Hälfte dieses Bandes konnten wegen Entfernung des Druckortes von dem Uebersetzer Correctur und Revision der Bogen nur sehr unvollkommen ausgeführt werden, so daß auf das nachstehende Verzeichniß wesentlicher und von dem Leser abzuändernder Druckfehler aufmerksam gemacht werden muß. Die unwesentlichen Druckfehler bleiben dagegen der gefälligen Abänderung des Lesers selbst überlassen.

Seite 1 Zeile 13 von unten lies 79 statt 21.
„ 4 „ 10 „ oben „ Argand, statt Argant.
„ 7 „ 15 „ unten folgt auf Körpern „erzielten Wärmemenge".
„ 12 „ 16 „ „ lies nach Luft: die Zeit beobachtet, statt: beobachtet, ferner die Zeit.
„ 16 „ 10 „ oben „ 140° wohl, statt 140 wo.
„ 19 „ 7 „ unten „ die, statt den
„ — „ 2 „ „ „ der, statt dem; auch fällt das zweite „wenig" weg.
„ 22 „ 13 „ „ folgt hinter vollkommener „Trockenheit".
„ 26 „ 24 „ „ lies statt untersucht „ausgesetzt wurde".
„ 28 „ 12 u. 17 von oben lies statt 15000, 1500 Grad.
„ — „ 6 von unten lies entwickelnden, statt entwickelten.
„ 39 „ 7 „ „ „ stechendem, statt stehendem und Geruch statt Druck.
„ 40 „ 26 „ „ „ trocknen, statt trocken.
„ 45 „ 2 „ oben „ wie, statt daß.
„ 46 „ 8 „ unten folgt hinter sind „zeigen".
„ 59 „ 8 „ oben lies Steinkohlen, statt Arbeitslöhnen.
„ 66 „ 6 „ „ fällt „sich" weg.
„ 68 „ 20 „ unten folgt auf Wasserstoff: „bestehend".
„ 69 „ 8 „ „ lies auch, statt und außer.
„ 72 „ 7 „ oben schalte man vor mehr: „sich" ein.
„ 82 „ 1 „ „ folgt auf Röhren: „stattfindet".
„ 88 „ 1 „ unten lies eine, statt mit einer.
„ 97 „ 12 „ oben „ aber, statt es.
„ 99 „ 14 „ „ folgt hinter daß: „die".
„ 107 „ 7 „ „ lies vermindernden, statt verminderten.
„ 109 „ 4 „ unten lies den, statt beim.
„ 110 „ 8 „ „ „ Bontemps statt Bontepms.

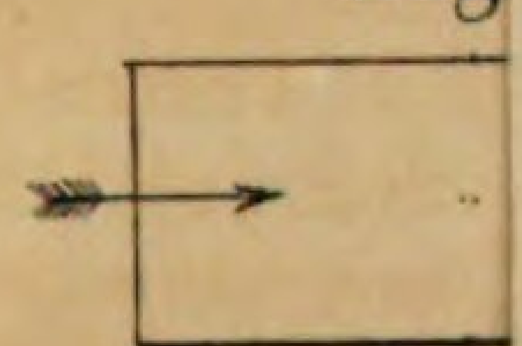
Seite 111	Zeile 7	von oben	lies:	und es war der Ausfluß der Luft in einer Secunde unter atmosphärischem Druck, statt: und es war Ausfluß der Luft in Secunden unter atmosphärischem Druck.
„ 114	„ 12	„ „	„	bewiesen, statt beweisen.
„ 116	„ 22	„ „	„	Schnittes, statt Punktes.
„ 125	„ 8	„ unten		schalte vor fand: „beobachtete“ ein.
„ 131	„ 5	„ „	„ „	der: „die“ ein.
„ 135	„ 5	„ „		folgt auf vermindern: „würde“.
„ 138	„ 9	„ „		lies Dichtigkeit, statt Flüssigkeit.
„ 139	„ 9	„ „	„	S statt 5.
„ 140	„ 13	„ „		folgt nach entsprechen: „annimmt“.
„ 141	„ 19	„ „		lies condensirte, statt condendirte.
„ 145	„ 19	„ „	„	nur statt nun.
„ 152	„ 4 u. 5	„ „	„	zu bewirken, statt in Verbindung zu setzen.
„ 156	„ 6	„ „		folgt hinter Luftsäulen: „bezeichnet“.
„ 158	„ 26	„ „	„	hinter dem zweiten Meter: „sein“.
„ 164	„ 21 u. 22	„ „		bleibt „nimmt alsdann zu“ weg.
„ —	„ 20	„ „		folgt nach und: „es“.
„ 174	„ 22	„ „		bleibt „und verbesserte den Uebelstand“ weg.

Druck von G. Pätz in Naumburg.

Fig.5.



Fig



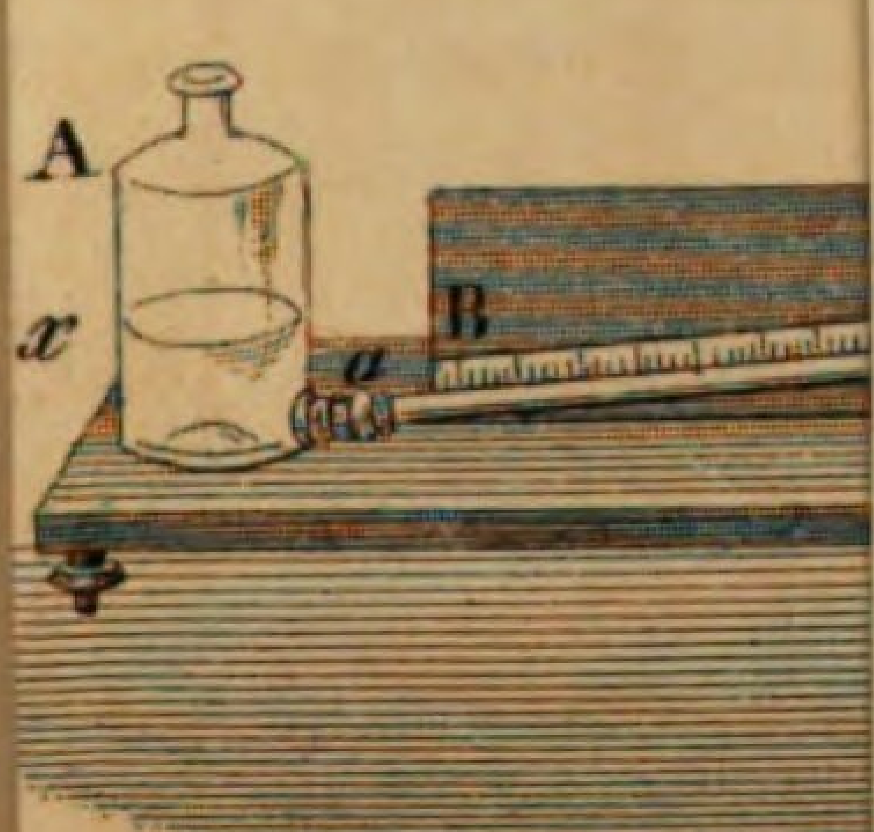
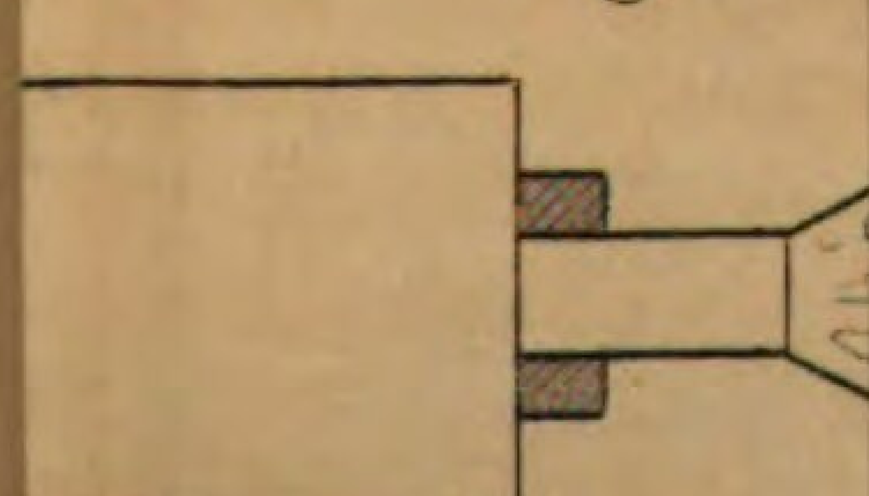
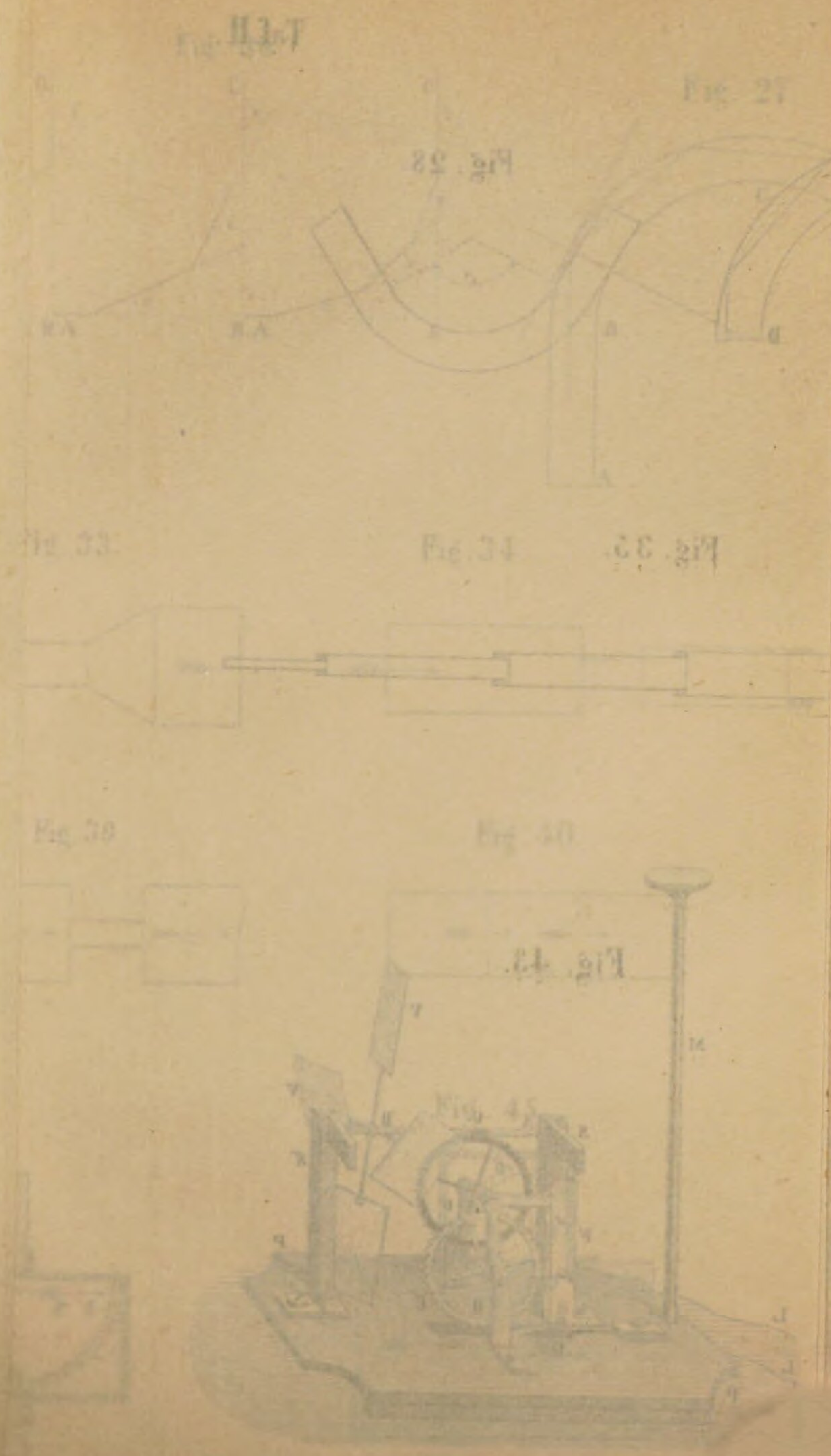
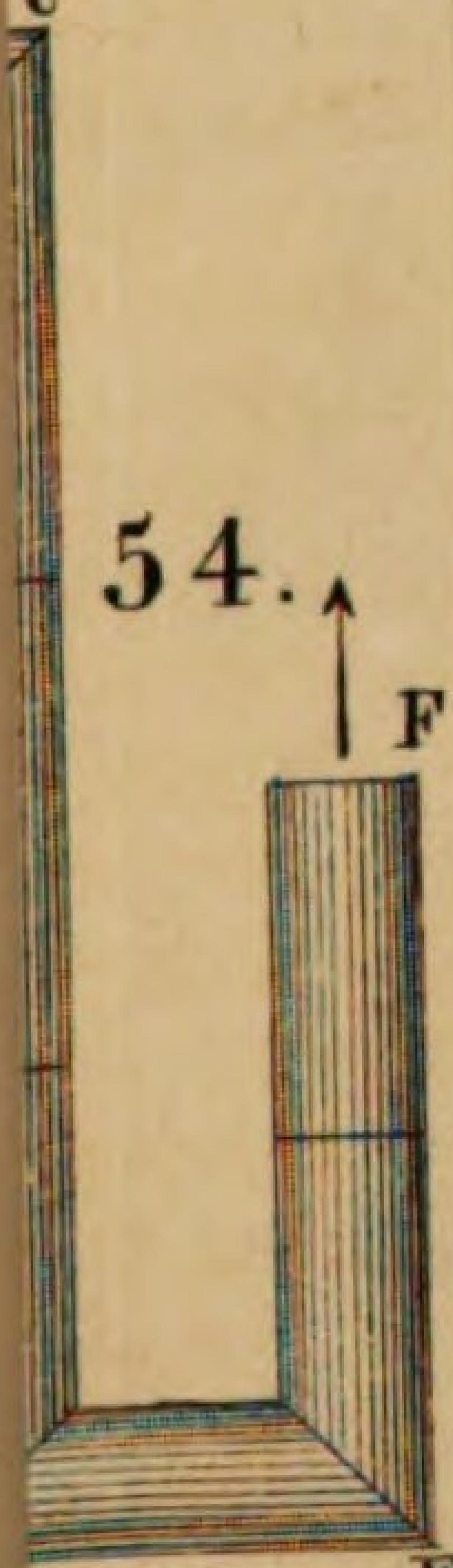


Fig.18.




Fig. 27
Fig. 33
Fig. 34
Fig. 39
Fig. 40
Fig. 45

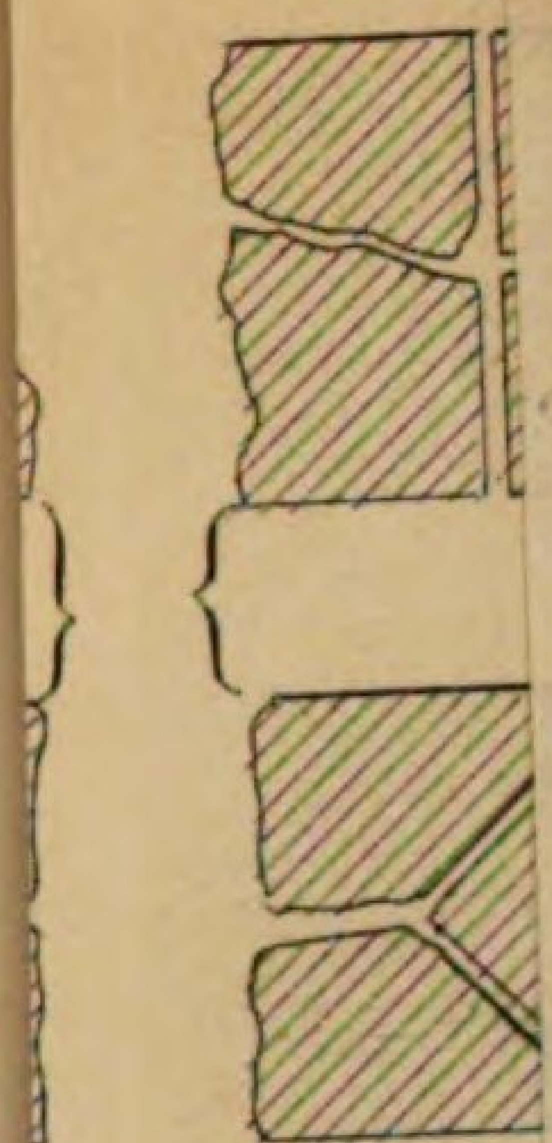




54.

Fig. 65





Fig



Fig.98.

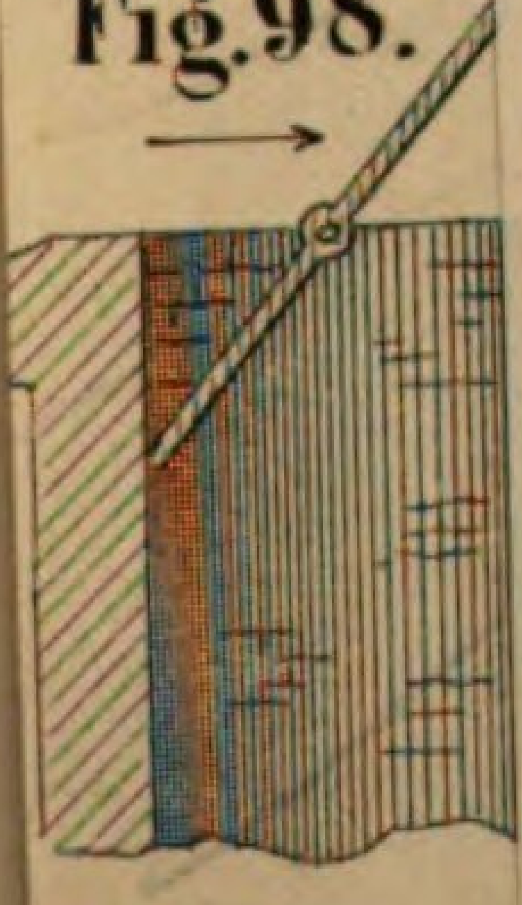


Fig. 105.

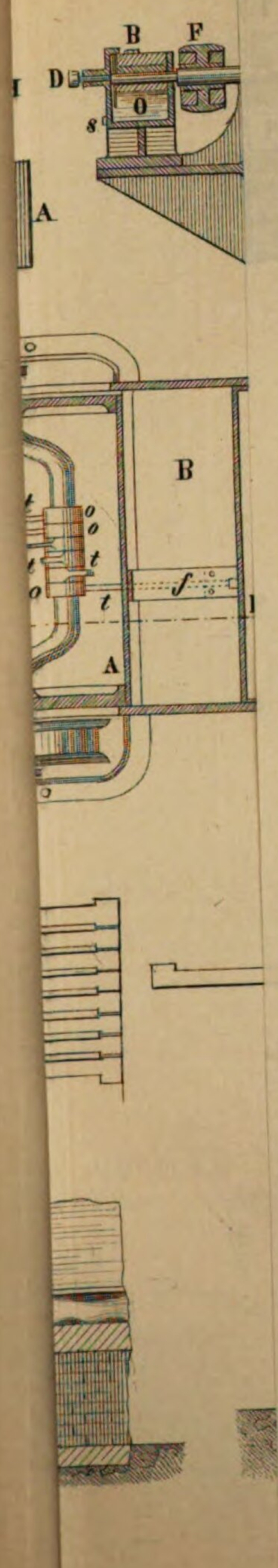
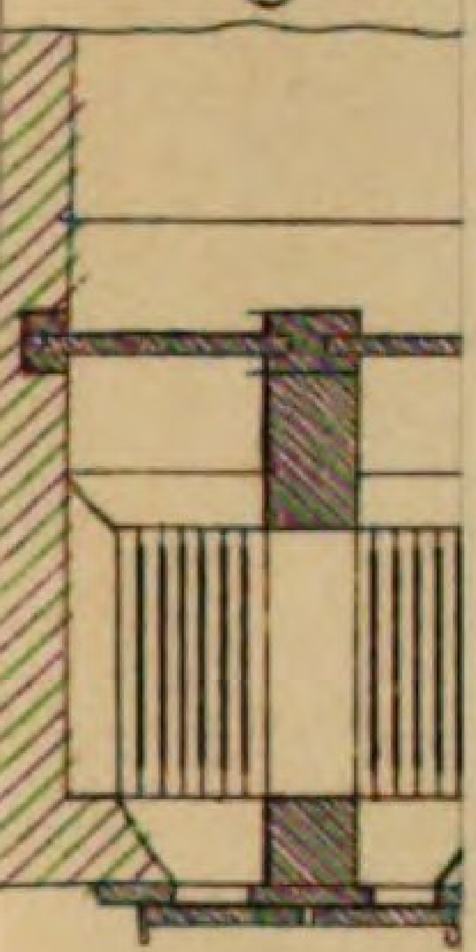




Fig.134



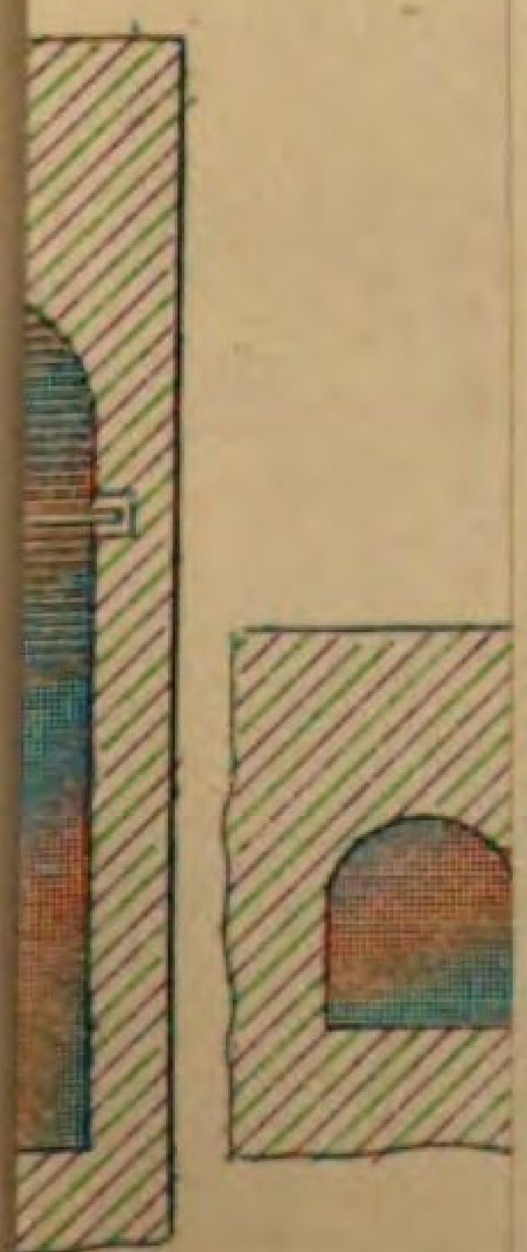




Fig.157.

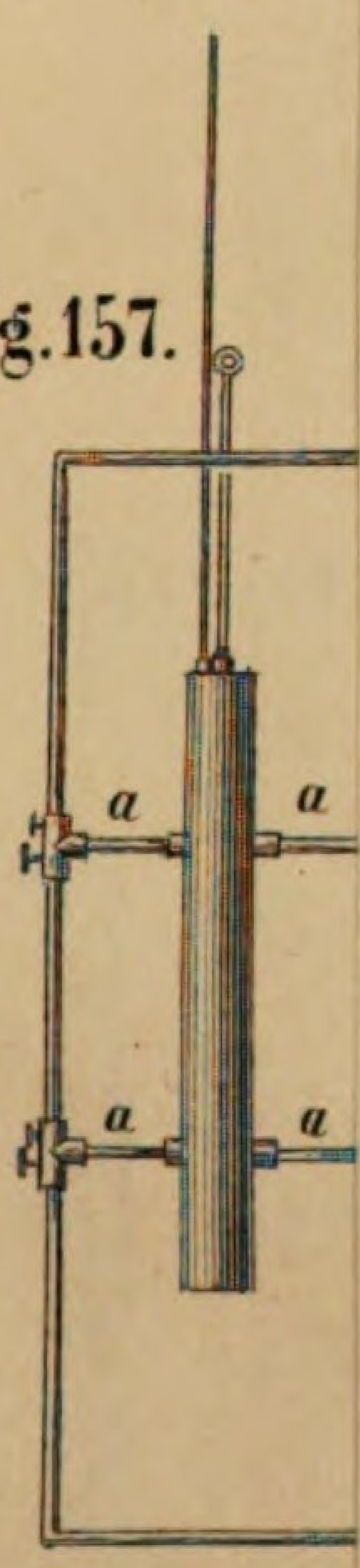
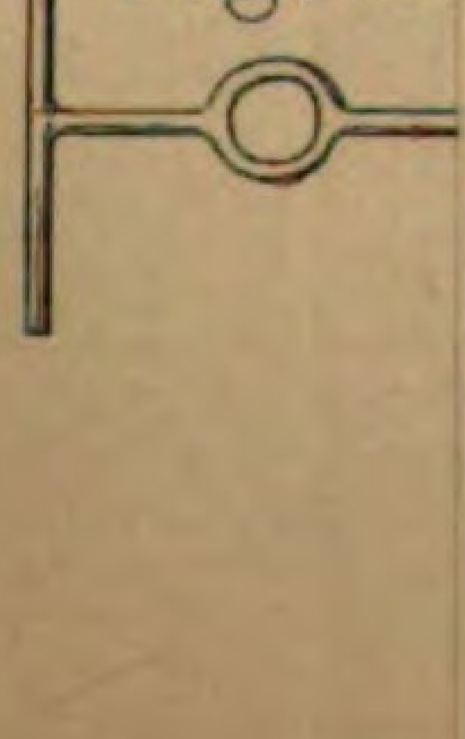
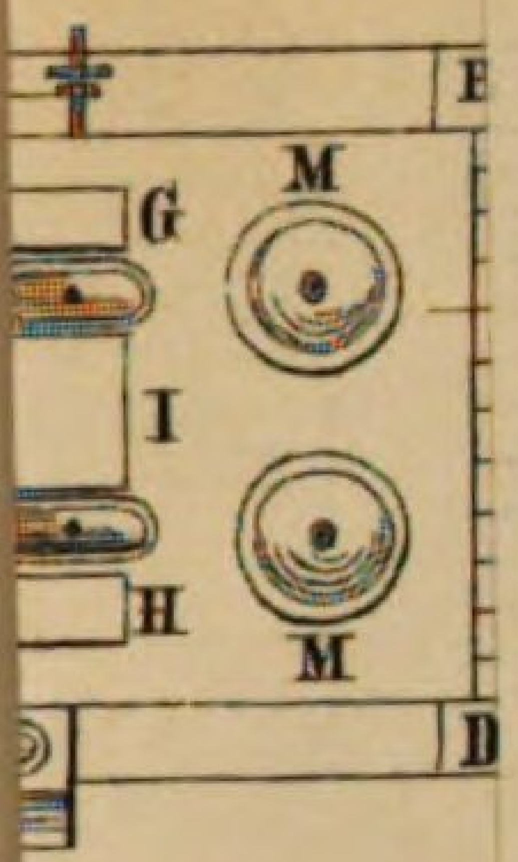


Fig.158



5.



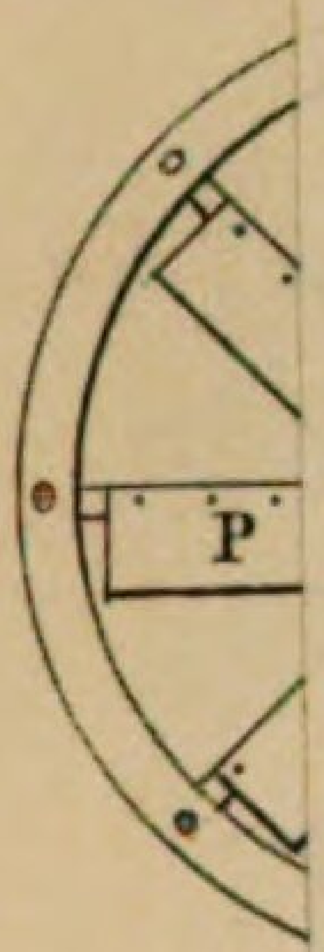


Fig.179.

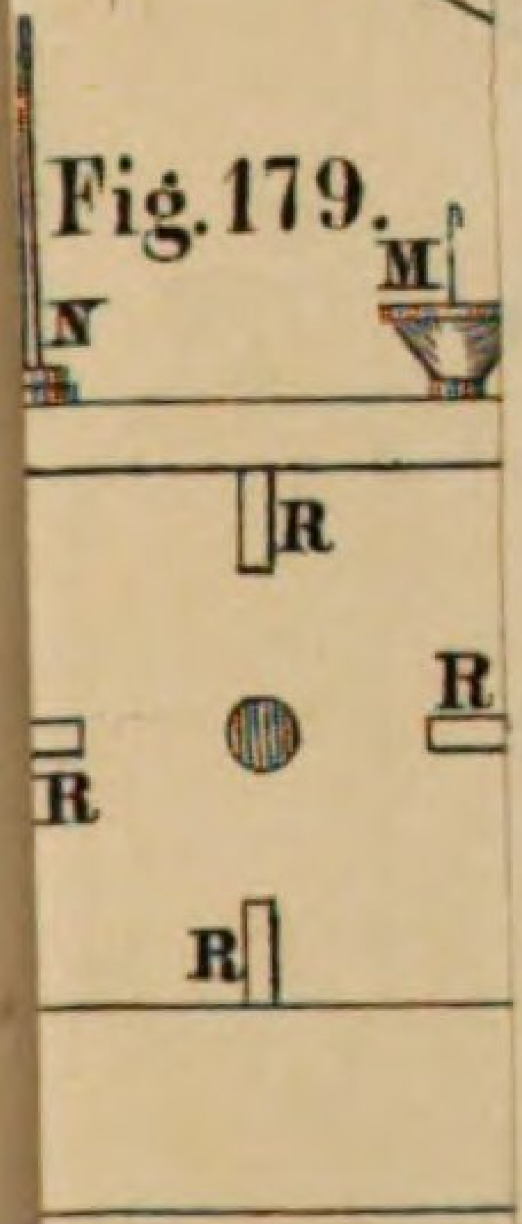


Fig. 18



Péclet, Eugène,

Péclet's weil. General-Inspectors an der Universität ... vollständiges
Handbuch über die Wärme und ihre Anwendung in den Künsten und Gewerben für
Physiker, Berg-, Hütten-, Fabriken- und Bau-Ingenieure, Mechaniker,
Fabrikanten, Landwirthe etc
Bd.: 1

Leipzig (1860)